

# **Automatização de uma mesa do "Jogo do Galo"**

*Alban Monteiro*

## **Relatório de Dissertação**

Orientador: Professor Doutor Francisco Jorge Teixeira de Freitas



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

**Ramo de Automação**

Ano letivo 2013/2014



*Aos meus pais,*





## Resumo

O trabalho desta dissertação consiste na automatização e recuperação de um sistema não funcional do “Jogo do Galo” desenvolvido anteriormente por antigos alunos. Deste modo, este trabalho tem como principal objetivo, a implementação de uma solução tecnológica mais atual, flexível e interessante do ponto de vista lúdico e didático.

Foi feita uma análise do sistema anteriormente contruído e uma especificação de objetivos para a nova solução. Foram mantidos os meios de realização de movimentos de índole pneumática e essencialmente redefinidos todos os elementos complementares de automação do sistema.

Foi assim prevista uma ilha de válvulas electropneumáticas com ligação a um novo autómato, por comunicação *CANopen*.

A interface com o utilizador foi realizada com utilização de uma HMI (*Human-Machine-Interface*). A solução inclui ainda a incorporação de um sistema de visão. A HMI implementada no sistema permite a supervisão e controlo do jogo.

Todos os equipamentos implementados comunicam entre si numa rede local através do protocolo de comunicação *Modbus TCP*.

A solução proporciona aos jogadores a possibilidade de jogo entre dois jogadores, ou um jogador contra a máquina, com reposição das bolas mecânica ou manualmente. Esta solução conduziu ao aparecimento de um sistema de visão para que a jogadas efetuadas manualmente sejam reconhecidas pelo controlador. O sistema de visão é constituído por um pequeno computador de baixo custo, *Raspberry PI* que, associado a uma câmara dedicada recolhe a imagem atual do tabuleiro, efetua o processamento necessário e envia a atualização da jogada efetuada para a HMI.

Após a implementação da solução estudada verificou-se que esta constituiu um claro acréscimo tecnológico e lúdico, enfatizando, assim, o seu carácter didático.



## Automation of a “tic-tac-toe” table

### Abstract

The theme of this Master Dissertation is the automation and recovery of a non-functional system of “Tic Tac Toe” previously developed by former students. Thus, this work has as main goal: the implementation of a more up-to-date, interesting and flexible technology solution from the didactic and playful point of view.

A system analysis and a specification of requirements was made for the new solution. The pneumatic actuating means previously used were kept. The other complementary elements were redefined.

A stack of electro-pneumatic valves was used with connection for a new controller through a CANopen communication.

The user machine interface was performed with a HMI (Human-Machine-Interface). The HMI implemented in the system allows the supervisory and the control of the game. The solution also includes the incorporation of a dedicated vision system.

All equipment implemented communicate with each other on a local network via Modbus TCP communication protocol.

The solution gives the players the ability to play between two players, or against the machine, with mechanical or manually replacement of the balls. With this solution implemented, the result was a forthcoming vision system for the supervision of the manual moves and their recognition by the controller. The vision system consists of a small low-cost computer, *Raspberry Pi*, which, coupled with a dedicated camera collects the current image from the tray, performs the necessary processing and sends the move update to the HMI.

After implementing the studied solution it was verified that this constituted a clear technologic and playful achievement, emphasizing its didactic character.



## Agradecimentos

Certamente, o espaço disponível para esta secção torna-se insuficiente para que seja feito um agradecimento devido a todas as pessoas que tornaram possível a realização desta dissertação.

Ao *Professor Doutor Francisco Freitas*, orientador da dissertação, expresso o meu sincero agradecimento pelo seu constante acompanhamento, dedicação, competências científicas transmitidas e pelas importantes críticas e sugestões que me permitiram evoluir ao longo desta dissertação.

Ao *Sr. Joaquim Silva*, técnico do laboratório de óleo-hidráulica, pelo estimável apoio, disponibilidade, pela crítica, sugestões dadas e pela amizade que sempre revelou para comigo.

Ao *Pedro Carneiro*, pela sua constante disponibilidade, crítica e sugestões construtivas nos momentos de maior necessidade.

Ao *Engenheiro João Pedro Reis*, pela sua pronta disponibilidade e transmissão de conhecimento científico, que me permitiu uma maior e determinante autonomia na implementação do sistema de visão.

Aos meus colegas estudantes de Automação pelo companheirismo demonstrado e pela disponibilidade, críticas e sugestões dadas ao longo desta dissertação.

À *Isabel*, um profundo e carinhoso agradecimento pelo constante apoio anímico e transmissão de confiança diários, apesar da distância que nos separa.

À *minha família*, a quem dedico esta dissertação, quero expressar um grande obrigado por todos os ensinamentos de vida e valores transmitidos, que me tornaram na pessoa que sou hoje e por me terem proporcionado todas as condições necessárias para o sucesso da minha caminhada académica.

A todos o meu sentido e reconhecido agradecimento.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização do tema de dissertação .....	1
1.1.1	Temáticas abordadas na dissertação .....	2
1.2	O jogo do galo.....	2
1.2.1	Regras de jogo .....	3
1.3	Objetivos a alcançar .....	3
1.4	Motivação para a dissertação .....	4
1.5	Organização da dissertação .....	4
<b>2</b>	<b>Estudo prévio .....</b>	<b>7</b>
2.1	Caraterização do equipamento existente .....	7
2.1.1	Mesa de jogo.....	7
2.1.2	Movimentação no plano do jogo .....	8
2.1.3	Cilindro pneumático assimétrico para eixo z.....	8
2.1.4	Cilindro pneumático assimétrico de sinalização.....	9
2.1.5	Detetor de fim de curso .....	10
2.1.6	Transdutor de posição magnetoestrutivo .....	10
2.1.7	Gerador de vácuo.....	12
2.1.8	Estrangulador unidirecional.....	12
2.1.9	Pressostato com leitura digital da pressão .....	13
2.2	Especificação do cliente.....	13
2.2.1	Fundamentos base.....	14
2.2.2	Requisitos do produto.....	14
<b>3</b>	<b>Solução desenvolvida.....</b>	<b>17</b>
3.1	Enquadramento da solução .....	17
3.2	Apresentação da solução .....	19
3.3	Solução pneumática .....	21
3.3.1	Solução pneumática para eixos horizontais .....	22
3.3.2	Solução pneumática para eixo vertical .....	23
3.3.3	Solução pneumática para movimentos complementares .....	24
3.3.4	Solução com equipamento <i>FESTO</i> .....	25
3.4	Autómato <i>TWIDO</i> , <i>Schneider Electric</i> .....	30
3.4.1	Controlador modular <i>TWIDO</i> .....	31
3.4.2	Módulo de comunicação <i>CANopen</i> .....	31
3.4.3	Módulo de entradas e saídas analógicas .....	32
3.4.4	Base de entradas digitais.....	32
3.4.5	Módulo de comunicação <i>Ethernet</i> .....	33

3.5	Solução de supervisão e monitorização .....	34
3.5.1	HMI - Human-Machine-Interface .....	34
3.5.2	Barreira imaterial .....	36
3.6	Solução para aquisição de imagem.....	37
3.7	Switch para rede industrial local.....	38
3.8	Representação esquemática da solução .....	39
<b>4</b>	<b>Implementação da solução .....</b>	<b>41</b>
4.1	Sistema eletropneumático e seu comando .....	41
4.1.1	Posicionamento por comando de válvulas digitais .....	42
4.1.2	Programação do autómato.....	50
4.2	Sistema de monitorização e comando - HMI .....	56
4.2.1	Software de programação - <i>Vijeo Designer</i> ® .....	56
4.2.2	Interatividade das janelas .....	57
4.2.3	Estrutura de programação .....	58
4.2.4	Programação da interface da HMI .....	60
4.3	Sistema de aquisição de imagem.....	68
4.3.1	Instalação e suporte.....	69
4.3.2	Programação .....	72
4.4	Rede de comunicação industrial local .....	76
4.4.1	Endereçamento dos equipamentos.....	77
4.4.2	Protocolo de comunicação - <i>Modbus</i> .....	77
<b>5</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>81</b>
5.1	Trabalhos futuros.....	83
<b>6</b>	<b>Bibliografia .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO A:</b>	<b>Interface da HMI .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO B:</b>	<b>Implementação do protocolo de comunicação <i>CANopen</i> .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO C:</b>	<b><i>Grafcet's</i>.....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO D:</b>	<b>Folhas de caraterísticas .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO E:</b>	<b>Esquemas elétricos .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO F:</b>	<b>Tabelas de ligações .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO G:</b>	<b>Terminais de válvulas analisados .....</b>	<b>125</b>



## Índice de Imagens

Ilustração 1.1 - Ambiente do "Jogo do Galo" .....	3
Ilustração 2.1 - Mesa e sistema cartesiano de atuação do sistema automatizado do "jogo do galo". 1: Mesa de jogo; 2: Cilindro pneumático sem haste; 3: Cilindro pneumático assimétrico; 4: Transdutor de posição magnetoestrutivo; 5: Gerador de vácuo com feedback elétrico. ....	7
Ilustração 2.2 - Cilindro pneumático sem haste de duplo efeito (2) .....	8
Ilustração 2.3 - Cilindro pneumático assimétrico com guiamento da <i>Joucomatic</i> . (3).....	9
Ilustração 2.4 - Cilindro pneumático assimétrico da <i>Joucomatic</i> . (4) .....	9
Ilustração 2.5 - Detetor de fim de curso da <i>Joucomatic</i> . (5).....	10
Ilustração 2.6 - Efeito provocado pelo êmbolo magnético no sensor Reed. (5) .....	10
Ilustração 2.7 - Transdutor de posição magnetoestrutivo da <i>Temposonic</i> . (6) .....	11
Ilustração 2.8 - Sensibilidade de transdutor magnetoestrutivo. ....	12
Ilustração 2.9 - Gerador de vácuo.....	12
Ilustração 2.10 - Restritor unidirecional, ref: 7668 04 10, da LEGRIS. (8) .....	13
Ilustração 2.11 - Pressostato da <i>Joucomatic</i> (9) .....	13
Ilustração 3.1 – Componentes principais da solução desenvolvida.....	21
Ilustração 3.2 - Esquema pneumático simplificado de comando de um dos eixos horizontais. ....	22
Ilustração 3.3 - Esquema pneumático simplificado de comando do eixo vertical. ....	23
Ilustração 3.4 - Esquema pneumático dos três cilindros de sinalização. ....	24
Ilustração 3.5 - Esquema de terminal VTUG da FESTO. (10).....	25
Ilustração 3.6 – A) Válvula pneumática dupla 3/2 NC; B) Válvula pneumática 5/2 NC. (10).....	26
Ilustração 3.7- A) IO-LINK Interface e estrutura de ligação; B) Esquema representativo de uma ficha M12 de 5 pinos. (10).....	27
Ilustração 3.8 - A) Módulo CTEU-CO ( <i>CANopen</i> ); B) Esquema representativo de uma ficha M12 de 5 pinos B-CODED. (11) .....	28
Ilustração 3.9 - Módulo CTEL. (11).....	28
Ilustração 3.10 - Unidade FR (filtro e regulador) da FESTO. (12).....	29
Ilustração 3.11 - Válvula bloqueadora LEGRIS. (8) .....	29
Ilustração 3.12 - Estrangulador unidirecional com ponta cilíndrica. (8) .....	30

Ilustração 3.13 - Autômato TWIDO e respetivos elementos modulares. 1- Controlador modular TWIDO, <i>Schneider Electric</i> ; 2- Módulo de comunicação <i>CANopen</i> , 3- Módulo de expansão de entradas analógicas; 4- Base de entradas/saídas digitais (Sistema pré-cablagem da Telfast).....	30
Ilustração 3.14 - Controlador modular twido. (13) .....	31
Ilustração 3.15 - Módulo de comunicação <i>CANopen</i> . (13).....	32
Ilustração 3.16 - Módulo de expansão de entradas e saídas analógicas. (13) .....	32
Ilustração 3.17 - Módulo externo Telfast 16 Digital I/O. (13) .....	33
Ilustração 3.18 - Módulo <i>Ethernet</i> . (13) .....	33
Ilustração 3.19 - HMI <i>Magelis</i> STU 855 da <i>Schneider Electric</i> . .....	34
Ilustração 3.20 - Elemento de processamento da <i>Magelis</i> HMI STU 855 da <i>Schneider Electric</i> (vista posterior). .....	35
Ilustração 3.21 - Detetor fotoelétrico da <i>Schneider Electric</i> . (15) .....	36
Ilustração 3.22 - <i>Raspberry Pi</i> (principais componentes) e câmara.....	37
Ilustração 3.23 - <i>Switch</i> da <i>D-LINK</i> . (17) .....	39
Ilustração 3.24 – Esquema representativo da solução estudada.....	40
Ilustração 4.1 – Caracterização da natureza dos erros de posição. ....	45
Ilustração 4.2 – Presença de deriva nos dois atuadores. ....	47
Ilustração 4.3 – Comportamento do atuador para diferenças de pressão consideráveis entre as câmaras. ....	49
Ilustração 4.4 - Disposição do autômato e respetivos módulos no <i>software</i> de programação TwidoSuite®.....	51
Ilustração 4.5 - Estrutura de programação do autômato. ....	52
Ilustração 4.6 - Tabuleiro de jogo.....	53
Ilustração 4.7 - Solução implementada.....	56
Ilustração 4.8 - <i>Template</i> base das janelas. 1. Nome da página atual; 2. Sequência efetuada na interface; 3. Zona de jogo e/ou navegação.....	58
Ilustração 4.9 - Capa introdutória. ....	59
Ilustração 4.10 - Menu.....	59
Ilustração 4.11 - Estrutura de programação da interface.....	60
Ilustração 4.12 - Variáveis parametrizáveis de uma receita.....	61
Ilustração 4.13 - Definição das coordenadas das posições no tabuleiro de jogo.....	61
Ilustração 4.14 - Sequência de operações para efetuar a memorização de novas coordenadas. (21).....	62
Ilustração 4.15 - Definição dos erros de controlo. ....	62
Ilustração 4.16 - Definição dos erros de estabilização para cada eixo.....	62

Ilustração 4.17 - Sequência de operações para efetuar o envio das coordenadas para o autômato.....	63
Ilustração 4.18 - Interface de jogo entre dois jogadores. ....	63
Ilustração 4.19 – A) <i>Popup</i> para vitória do jogador 1; B) <i>Popup</i> para vitória do jogador 2.....	64
Ilustração 4.20 - <i>Popup</i> para empate. ....	65
Ilustração 4.21 - <i>Popup</i> para iniciar o jogo novamente ou voltar ao início da interface.....	65
Ilustração 4.22 - Interface de jogo entre um jogador e a máquina. ....	66
Ilustração 4.23 - <i>Popup</i> para validar jogada manual.....	67
Ilustração 4.24 - Suporte com <i>Raspberry Pi</i> e câmara. ....	68
Ilustração 4.25 - Estrutura da programação desenvolvida para o processamento de imagem. ....	69
Ilustração 4.26 - <i>Software</i> PUTTY para controlo remoto com suporte para protocolo SSH. ....	70
Ilustração 4.27 - Alteração da configuração de IP do <i>Raspberry Pi</i> . ....	71
Ilustração 4.28 - Modificação das configurações de arranque de sistema. ....	72
Ilustração 4.29 - Imagem inicial captada pela câmara. ....	73
Ilustração 4.30 - Imagem obtida após isolar a cor azul dos marcadores.....	74
Ilustração 4.31 - Imagem obtida após recorte.....	75
Ilustração 4.32 - Imagem obtida no fim da identificação das bolas verdes. ....	76



## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Características do cilindro pneumático sem haste ref: STB 25 A 200. (2).....	8
Tabela 2.2 - Características do cilindro pneumático assimétrico da Joucomatic, ref: K20 D 10L-M. (3).....	9
Tabela 2.3 - Características de cilindro pneumático assimétrico da <i>Joucomatic</i> . (4).....	9
Tabela 2.4 - Características de detetor de Fim de Curso da Joucomatic. (5).....	10
Tabela 2.5 - Características do transdutor de posição absoluto magnetoestrutivo da <i>Temposonics</i> (6) .....	11
Tabela 3.1 - Resumo de características gerais do terminal de válvulas VTUG da FESTO. (10) .....	26
Tabela 3.2 - Informação técnica das válvulas. (10) .....	27
Tabela 3.3 - <i>Layout</i> das fichas M12 de 5 pinos. (11).....	28
Tabela 3.4 - Componentes da <i>LEGRIS</i> . .....	30
Tabela 3.5 - Características principais do terminal <i>Magelis</i> STU 855. (13) (14).....	35
Tabela 3.6 - Características de detetor fotoelétrico. (15).....	36
Tabela 3.7 - Características do computador Raspberry Pi modelo B. (16).....	38
Tabela 3.8 - Características da câmara OV5647. (16).....	38
Tabela 4.1 - Comportamento dos atuadores para o avanço.....	43
Tabela 4.2 - Comportamento dos atuadores para o recuo. ....	44
Tabela 4.3 - Atrasos temporais relativos ao sistema de controlo. ....	46
Tabela 4.4 - Tempos de paragem do sistema de movimentação relativos à estabilização. ....	48
Tabela 4.5 - Comparação entre erros experimentais e os erros calculados. ....	50
Tabela 4.6 - Apresentação das funcionalidades dos botões de navegação. ....	58
Tabela 4.7 - Cor dos três estados possíveis de jogo.....	64
Tabela 4.8 - Endereçamento dos dispositivos da rede. ....	77
Tabela 4.9 - Estrutura do telegrama da comunicação <i>Modbus</i> RTU. (26).....	78
Tabela 4.10 - Estrutura do telegrama da comunicação <i>Modbus ASCII</i> . (26).....	78
Tabela 4.11 - <i>Frame Modbus</i> TCP com transmissão TCP/IP. (27) .....	79



## **1 Introdução**

Ao longo dos anos recentes, os jogos tradicionais têm vindo a sofrer um decréscimo na sua preferência principalmente entre a população mais jovem. Este facto deve-se ao aparecimento de novas tecnologias e ao seu avanço exponencial. Assim, observa-se um mercado em constante expansão de jogos virtuais que aos poucos tem vindo a provocar o esquecimento ou o desinteresse pelos jogos tradicionais.

A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto tem vindo a desenvolver programas de integração para jovens estudantes, no ambiente universitário, para que possam ter um maior contacto com os diferentes cursos de engenharia e permitir solidificar as suas preferências como futuro profissional.

O tema desta dissertação: "Automatização de uma mesa do jogo do galo" vai, de certa forma, ao encontro da tendência experimental seguida na Faculdade de Engenharia no sentido de apresentar aos estudantes aplicações de engenharia com tripla finalidade, profissional, lúdica e didática. Deste modo, conseguir captar melhor o interesse de toda a comunidade estudantil para a compatibilidade entre novas tecnologias e atividades tradicionais.

Este projeto está inserido na unidade curricular de dissertação do ramo de Automação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Porto. A dissertação foi orientada pelo Professor Doutor Francisco Jorge Teixeira de Freitas, responsável desta unidade curricular.

Neste capítulo é feita uma contextualização do tema da dissertação, uma apresentação dos principais objetivos a que este projeto se propõe e a sua organização.

### **1.1 Contextualização do tema de dissertação**

Esta dissertação surge do reaproveitamento de um sistema automatizado do “Jogo do Galo” que fora desenvolvido por antigos alunos há cerca de 10 anos.

Estes alunos desenvolveram um sistema automatizado constituído por uma mesa com marcações para o posicionamento das peças/bolas de jogo. O posicionamento de cada bola foi feito com dois cilindros pneumáticos que orientavam a bola nos eixos x e y e a remoção/colocação da bola segundo o eixo z com um gerador de vácuo. Os cilindros pneumáticos eram comandados por uma “caixa preta” de válvulas da marca *Joucomatic* e estas acionadas por um controlador dedicado e proprietário. As válvulas que efetuavam o controlo de posição dos eixos horizontais eram válvulas digitais de elevada dinâmica. A comunicação entre o autómato e a caixa de válvulas era baseada no protocolo de comunicação AS-I. O sistema era supervisionado por um computador e as jogadas efetuadas num ambiente desenvolvido no mesmo, envolvendo dois jogadores. Com o passar dos anos, o sistema deixou de ser apelativo devido a que a solução então encontrada tinha sido envolvendo um controlador dedicado com *software* fechado.

Esta dissertação surge no sentido de recuperar/requalificar o sistema existente aplicando soluções mais recentes e interessantes do ponto de vista tecnológico, didático e lúdico. Deste modo, este projeto passa por, inicialmente, reconhecer o equipamento existente passível de ser recuperado para que depois seja possível efetuar um estudo detalhado e, posteriormente, implementada uma nova solução mais recente, inovadora e flexível. Assim, é proporcionado a este novo sistema maior relevo tecnológico, realçando o seu carácter didático.

### **1.1.1 Temáticas abordadas na dissertação**

As temáticas abordadas no decorrer da dissertação foram:

- Pneumática;
- Eletrónica e instrumentação;
- Processamento de imagem;
- Programação (*Grafcet*, *Ladder*, *Java®*, *Python®*);
- Redes e protocolos de comunicação;
- Sistemas elétricos.

## **1.2 O jogo do galo**

O “Jogo do Galo” ou o “Jogo da Velha” é uma atividade lúdica e um passatempo tradicional que envolve dois jogadores, sendo de fácil compreensão e de regras bastante simples. O nome de “Jogo da Velha” teve origem em Inglaterra quando as senhoras se juntavam para bordarem e conversarem. As senhoras de maior idade, impossibilitadas de bordar devido



à sua visão debilitada e enfraquecida, começaram a jogar este jogo devido à sua facilidade de compreensão e jogabilidade.

A origem deste jogo remete há 3500 anos atrás em que se encontram tabuleiros escavados em templos do antigo Egito (1).

### 1.2.1 Regras de jogo

As regras deste jogo são de extrema facilidade e compreensão, conforme demonstra a ilustração 1.1:

- O ambiente de jogo do "Jogo do Galo" é constituído por uma matriz de três linhas e três colunas;
- Os jogadores têm de escolher a ordem de jogo e que marcação/peça preferem para identificarem as suas jogadas, geralmente um círculo, O, e um X;
- Cada jogador deve posicionar/marcar alternadamente em lacunas/posições vazias;
- O objetivo do jogo consiste em criar uma sequência linear (horizontal, vertical ou diagonal) das suas peças/marcações primeiro que o opositor. Por outro lado, a estratégia de cada jogador tem de passar por impedir a sequência que o opositor está a tentar obter;
- Quando um jogador consegue uma sequência vencedora, geralmente costuma-se riscar essa sequência por forma a dar como terminado o jogo e encontrado um vencedor (1).

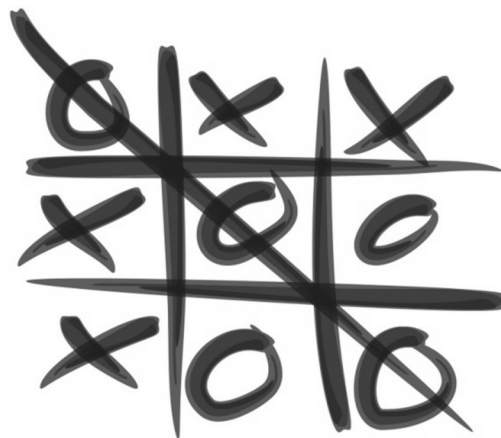


Ilustração 1.1 - Ambiente do "Jogo do Galo".

### 1.3 Objetivos a alcançar

Esta dissertação surge como tentativa de atrair a atenção das pessoas e proporcionar-lhes, de maneira diferente, interesse por estes jogos tradicionais que não devem ser eliminados

da sociedade. Assim, surgiu a ideia de criar um sistema automatizado destinado a demonstrar esta atividade lúdica e, deste modo, suscitar interesse da população no jogo devido à sua interatividade. Por outro lado, aproveitar a causa do desenvolvimento deste sistema para levar esta tecnologia e as suas potencialidades a uma maior quantidade de pessoas não limitando a sua compreensão e aplicabilidade ao mundo industrial.

Em suma, esta dissertação está assente em dois objetivos:

- Criar um sistema automatizado para o "Jogo do Galo" com um estudo e posterior implementação de uma solução;
- Suscitar interesse das pessoas pelo "sistema automatizado do jogo do galo" devido à sua interatividade e grau de automatização e dar a conhecer a um maior número de pessoas, novas e várias áreas tecnológicas, não restringindo a compreensão da tecnologia a um nível industrial.

#### **1.4 Motivação para a dissertação**

A motivação pelo tema de dissertação "Automatização de uma mesa do jogo do galo" surgiu após a apresentação do tema que demonstrou a variedade e riqueza de temáticas que este tema acarretaria. Durante o Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica os alunos vão sendo confrontados com vários problemas práticos, proporcionando-lhes uma maior proximidade com o mundo de trabalho e as suas adversidades e este tema de dissertação foi ao encontro dessa premissa. Desde crianças somos ensinados a jogar este jogo e, para mim, é uma grande satisfação ter a possibilidade de interligar este antigo e popular jogo com a minha área de estudos.

#### **1.5 Organização da dissertação**

Este trabalho está dividido em 5 capítulos.

No capítulo 1, o presente capítulo, é feita uma introdução detalhada para contextualizar o tema desta dissertação e os objetivos que a suportam.

No capítulo 2, é feito um estudo prévio que disponibiliza a informação técnica dos componentes que já estavam implementados e que serão utilizados neste trabalho. Neste capítulo é também feita uma análise do problema baseada numa especificação, na perspetiva do cliente/utilizador.

No capítulo 3, é apresentada a solução global para o problema e são descritos os equipamentos adquiridos para este projeto de dissertação e as suas características técnicas gerais.

Numa segunda parte é apresentada uma proposta de solução detalhada e de todo o equipamento necessário que vai ao encontro da especificação do cliente apresentada no capítulo anterior.

No capítulo 4, é feita uma descrição de todos os passos que envolveram a implementação da solução estudada, os obstáculos encontrados e, conseqüentemente a sua resolução.

Por último, no capítulo 5 é feita a conclusão do trabalho realizado e são enumerados alguns possíveis trabalhos futuros.



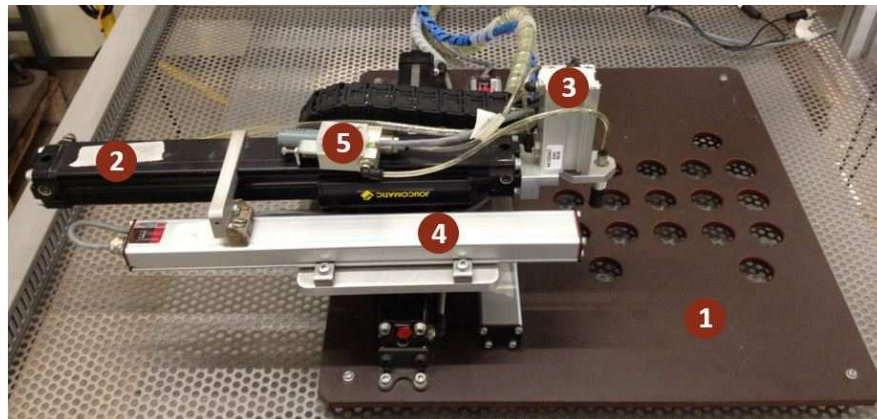
## 2 Estudo prévio

Ao iniciar este projeto foi necessário fazer um levantamento do material que estava disponível na bancada e capaz de ser possível ser utilizado no novo sistema.

Também foi feito um estudo detalhado e, assim, elaborados dois documentos: a especificação do cliente e a respetiva proposta de solução (esta última encontra-se no próximo capítulo). Com a especificação do cliente pretendeu-se definir os objetivos e os requisitos que este novo sistema deve seguir.

### 2.1 Caracterização do equipamento existente

Neste subcapítulo é feita uma descrição dos componentes presentes na bancada existente bem como as suas características técnicas, ilustração 2.1.



**Ilustração 2.1 - Mesa e sistema cartesiano de atuação do sistema automatizado do "jogo do galo". 1: Mesa de jogo; 2: Cilindro pneumático sem haste; 3: Cilindro pneumático assimétrico; 4: Transdutor de posição magnetoestrutivo; 5: Gerador de vácuo com feedback elétrico.**

#### 2.1.1 Mesa de jogo

Na ilustração 2.1, número 1, está presente a mesa de jogo para este sistema. Esta mesa representa o ambiente físico do “Jogo do Galo” proporcionando 9 posições de jogo, dispostas numa matriz e 5 posições de descanso inicial para cada um dos jogadores.

### 2.1.2 Movimentação no plano do jogo

Os movimentos efetuados no plano da mesa de jogo são realizados por um sistema cartesiano, como mostra a ilustração 2.1. Estão presentes dois cilindros pneumáticos de duplo efeito sem haste com amortecimento, sendo o corpo de um deles transportado pelo cursor do outro, realizando assim uma movimentação no plano XY, como representado na ilustração 2.2. Estes cilindros da *Joucomatic* ref: STB 25 A200, têm a corrediça associada ao êmbolo mecanicamente guiada, o que possibilita o seu funcionamento sob esforços desviados. (2)

Estes dois cilindros pneumáticos são responsáveis pelo deslocamento horizontal na orientação  $x$  e  $y$ , ilustração 2.2.



Ilustração 2.2 - Cilindro pneumático sem haste de duplo efeito (2)¹

Na tabela 2.1, estão presentes as características principais dos cilindros pneumáticos.

Tabela 2.1 - Características do cilindro pneumático sem haste ref: STB 25 A 200. (2)

<i>Caraterísticas do cilindro pneumático sem haste</i>	
<b>Pressão máxima</b>	8 bar
<b>Velocidade máxima</b>	2 m/s
<b>Ø êmbolo</b>	25 mm
<b>Curso</b>	200 mm

### 2.1.3 Cilindro pneumático assimétrico para eixo z

O cilindro pneumático, presente na ilustração 2.3, é um cilindro pneumático assimétrico de duplo efeito com guiamento e de êmbolo magnético da *Joucomatic*, ref: K20 D 10L-M.

Este cilindro permite o posicionamento da bola no eixo z.

---

¹ Imagem meramente ilustrativa: Os cilindros pneumáticos em questão não possuem detetores de fim de curso;



**Ilustração 2.3 - Cilindro pneumático assimétrico com guiamento da Joucomatic. (3)**

Na tabela 2.2, estão presentes as características gerais do cilindro em questão.

**Tabela 2.2 - Características do cilindro pneumático assimétrico da Joucomatic, ref: K20 D 10L-M. (3)**

<i>Caraterísticas do cilindro assimétrico de duplo efeito</i>	
Ø êmbolo	20 mm
Pressão de utilização	De 2 a 10bar
Curso	100 mm

#### **2.1.4 Cilindro pneumático assimétrico de sinalização**

Encontram-se presentes na bancada, 3 cilindros pneumáticos assimétricos de duplo efeito da *Joucomatic*, ref: C16 AS 100QM, ilustração 2.4, que são utilizados para fim informativo, ou seja, de acordo com o tema desta dissertação, estes têm a função de ser acionados quando um de três resultados de jogo se verificar: vitória do jogador 1, vitória do jogador 2 ou empate.



**Ilustração 2.4 - Cilindro pneumático assimétrico da Joucomatic. (4)**

**Tabela 2.3 - Características de cilindro pneumático assimétrico da Joucomatic. (4)**

<i>Caraterísticas cilindro pneumático assimétrico de duplo efeito</i>	
Ø êmbolo	16 mm
Pressão máxima	10 bar
Curso	100 mm

### 2.1.5 Detetor de fim de curso

Os detetores de fim de curso, ilustração 2.5, presentes neste sistema são utilizados para indicar a posição do êmbolo do cilindro pneumático assimétrico que efetua a colocação/remoção da bola na mesa de jogo.

O sensor de fim de curso em questão é um sensor *Reed* não polarizado da *Joucomatic*, ref: 88144209. (5). As suas características encontram-se na tabela 2.4.



Ilustração 2.5 - Detetor de fim de curso da *Joucomatic*. (5)

Tabela 2.4 - Características de detetor de Fim de Curso da *Joucomatic*. (5)

<i>Caraterísticas do detetor de Fim de Curso</i>	
Potência de contacto	DC = 3 W
Tensão de contacto	12 a 30 VDC
Tempo de resposta (abertura)	0.2 ms
Tempo de resposta (fecho)	0.5 ms
Repetibilidade	$\pm 0.5$ mm

Na ilustração 2.6, está presente o efeito que o êmbolo magnético provoca no sensor quando este chega à posição do sensor. A deteção do campo magnético do êmbolo faz fechar um contacto transmitindo assim um sinal.

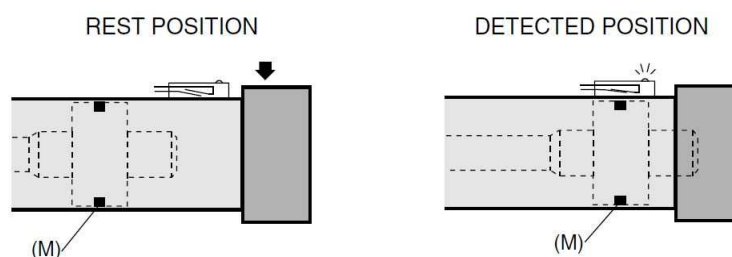


Ilustração 2.6 - Efeito provocado pelo êmbolo magnético no sensor Reed. (5)

### 2.1.6 Transdutor de posição magnetoestrutivo

O transdutor magnetoestrutivo presente na bancada, ilustração 2.7, é um transdutor de posição absoluto da *Temposonics*, ref: EP 0 M200 D34 1 V01 (6)





**Ilustração 2.7 - Transdutor de posição magnetoestrutivo da Temposonic. (6)**

O transdutor magnetoestrutivo possui dois campos magnéticos, um campo magnético é proveniente de um íman permanente móvel que percorre o curso útil do transdutor e outro campo magnético, impulsional, que é induzido ao longo da guia do transdutor. O impulso de eco resultante da intersecção dos dois campos viaja à velocidade do som ao longo da guia do transdutor sendo detetado no topo do transdutor. O tempo decorrido desde o impulso emitido até à sua chegada ao topo é diretamente proporcional à posição do íman móvel no curso do transdutor.

Como este transdutor é um transdutor de posição absoluto, não precisa de inicialização após uma perda de alimentação. O íman permanente móvel, como não está em contacto com o transdutor de posição absoluto, garante ausência de desgaste, maior durabilidade e repetibilidade. (6)

**Tabela 2.5 - Características do transdutor de posição absoluto magnetoestrutivo da Temposonics (6)**

<b><i>Caraterísticas do transdutor de posição absoluto magnetoestrutivo</i></b>	
Resolução	finita (limitada pela resolução da medida do tempo)
Sensibilidade	0.05 V/mm (ver ilustração 2.8)
Repetibilidade	$\pm 0.005\%$
Tensão de sinal	De 0 a 10 VDC
Curso de trabalho	200 mm
Tensão de funcionamento	24 VDC

Como é possível observar nas características do transdutor de posição, tabela 2.5, a sua resolução é finita devido à medida da posição ser realizada por uma medida de tempo. Como podemos confirmar no próximo capítulo, a resolução do módulo de entradas analógicas do autómato *TWIDO* é de 12 *bit* pelo que a resolução da medida de posição fica limitada pelo módulo de entradas analógicas.

Na ilustração 2.8 encontra-se um gráfico que representa a sensibilidade do transdutor magnetoestrutivo obtida experimentalmente. Neste gráfico é possível observar a linearidade do transdutor de posição.

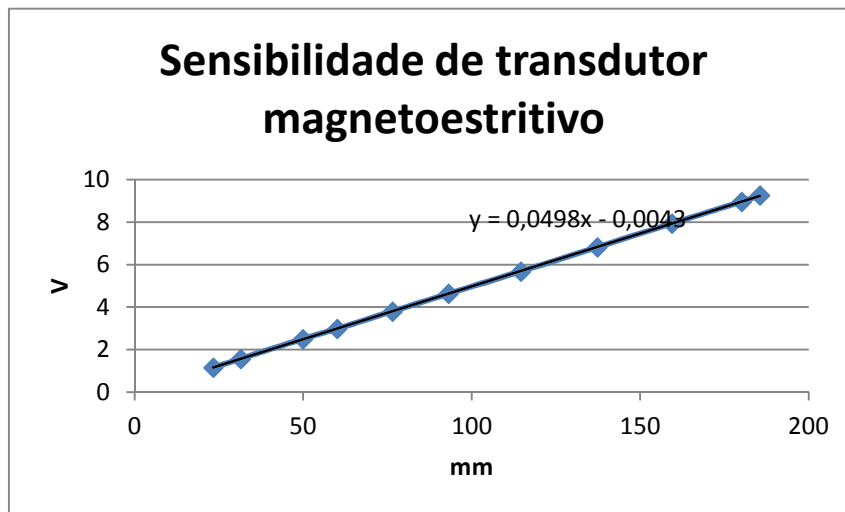


Ilustração 2.8 - Sensibilidade de transdutor magnetoestrutivo.

### 2.1.7 Gerador de vácuo

Na bancada está presente um gerador de vácuo (*venturi*) da *Coval*, ref: GV 10 NS VR, ilustração 2.9. Este elemento permite gerar vácuo quando solicitado e faz-se acompanhar por um contacto magnetoelétrico para a monitorização do seu estado atual, um contacto de vácuo ajustável (-200 mbar ; -560 mbar) e um silenciador. (7)

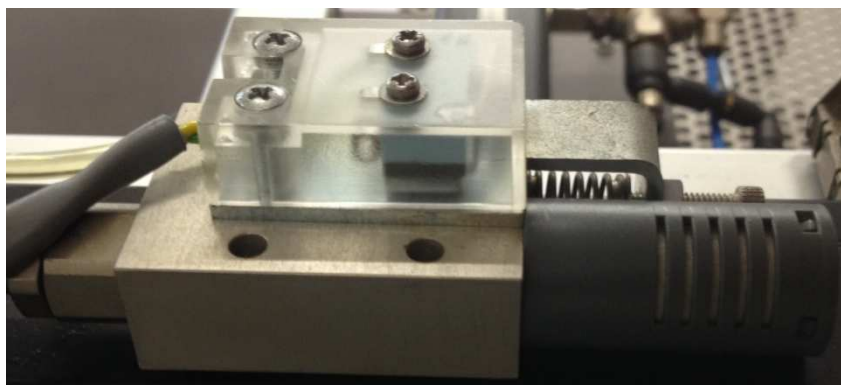


Ilustração 2.9 - Gerador de vácuo.

### 2.1.8 Estrangulador unidirecional

O sistema possui, também, 8 estranguladores unidirecionais, ref: 7668 04 10, da LEGRIS, ilustração 2.10. Destes, 6 estranguladores são associados aos cilindros de sinalização, ref: C16 AS 100QM e 2 estranguladores ao cilindro vertical de ref: K20 D 10L-M. Estes estranguladores unidirecionais possuem ligação para tubo de 4mm e uma ligação roscada de 1/8". (8)



Ilustração 2.10 - Restritor unidirecional, ref: 7668 04 10, da LEGRIS. (8)

### 2.1.9 Pressostato com leitura digital da pressão

Por último, está presente na bancada anterior um pressostato da *Joucomatic* ref: 339000047, ilustração 2.11. Neste, é possível observar a pressão da linha de alimentação de ar comprimido e possui dois contactos, um normalmente fechado e outro normalmente aberto que podem ser programados manualmente para que efetuem mudança de estado a uma determinada pressão/pressões e, assim, ser possível efetuar uma monitorização da pressão no sistema. (9)



Ilustração 2.11 - Pressostato da *Joucomatic* (9)

## 2.2 Especificação do cliente

A especificação realizada na ótica do cliente é um documento de elevada importância, uma vez que transmite ao projetista, ou construtor, o produto que pretende ver desenvolvido e as suas características funcionais. Esta tem de ser objetiva e bem estruturada para que a informação seja bem compreendida e seja possível conceber o produto à luz das ideias do cliente.

Inicialmente, na especificação do cliente, são apresentados os fundamentos que justificam a implementação do "Jogo do Galo" num sistema automatizado e quais os objetivos do projeto que devem estar assentes e serem atingidos. Por último, são apresentados os requisitos idealizados pelo cliente para que o projetista e/ou construtor possa analisar, validar

e, por fim, fazer o estudo de uma solução enquadrada nesta especificação. Esta solução, depois de analisada, e validada pelo projetista, é apresentada para uma posterior aceitação por parte do cliente.

### **2.2.1 Fundamentos base**

A conceção deste sistema automático deve estar assente em fundamentos básicos que justifiquem a sua realização, ou seja, fundamentos que justifiquem um investimento para a aquisição de equipamentos e, consequentemente, a realização deste sistema automatizado. Assim, com este sistema pretende-se suscitar o interesse dos estudantes da FEUP, nomeadamente do MIEM, e transmitir a tecnologia de uma maneira simples e cativante, por forma atingir os objetivos traçados inicialmente neste trabalho.

Para isso, o sistema necessita de:

- Estar focado principalmente na interatividade com as pessoas e na forma como o sistema irá suscitar interesse nas pessoas para a sua utilização;
- Possuir uma automatização de fácil compreensão e diversificada de modo a transmitir várias vertentes tecnológicas e, assim, desempenhar a sua função didática e educativa.

### **2.2.2 Requisitos do produto**

Para que o sistema esteja de acordo com os fundamentos base descritos este deve seguir os seguintes requisitos:

- Estruturais e funcionais;
- De comando.

#### **2.2.2.1 Requisitos estruturais e funcionais**

Os requisitos estruturais que o sistema automatizado deve cumprir são:

1. Devem ser reaproveitados os equipamentos de atuação e de *feedback* tais como: cilindros pneumáticos, detetores de fim de curso, transdutores absolutos de posição magnetoestrictivos e gerador de vácuo e respetiva ventosa;
2. Utilizar como elemento de jogo bolas de duas cores diferentes, de modo a reaproveitar a mesa de jogo já existente e o sistema de geração de vácuo;
3. O posicionamento deverá garantir uma velocidade moderada e uma repetibilidade elevada. Por outro lado, a sua exatidão de posicionamento não necessita ser elevada uma vez que é uma propriedade que pode ser tolerada para este fim;
4. Introduzir um sistema de supervisão, interface com utilizador e monitorização, de fácil utilização e intuitiva de modo a tornar o sistema independente de um computador;

5. Introduzir uma nova solução de controlo dos eixos cartesianos para o posicionamento das bolas de jogo (válvulas pneumáticas e autómato programável), solução esta que deve ser de reduzido atravancamento, custo relativamente baixo e com tecnologias recentes de comunicação;
6. De modo a cumprir um requisito de jogo, o sistema deve ter um sistema de visão incorporado para que seja possível realizar o jogo manualmente e este possa reconhecer a alteração e comunicar ao sistema de processamento a atualização do ambiente de jogo;
7. Deve possuir um sistema de segurança físico para que seja possível, se necessário, conduzir o sistema para um estado de emergência e consequentemente permitir total paralisação do jogo;
8. Como complemento, deve possuir uma barreira física para detetar alguma intrusão quando o jogo não o permitir e, por sua vez, possibilitar a intrusão durante um jogo com posicionamento manual das bolas do jogo.

#### **2.2.2.2 Requisitos de jogo**

Os requisitos de jogo que o sistema automatizado deve cumprir são:

1. Possuir duas formas de jogo: com um utilizador tendo como adversário a unidade de processamento e entre dois utilizadores;
2. Dentro de cada forma de jogo, o sistema deve disponibilizar duas maneiras de posicionamento: posicionamento "manual", efetuado por um jogador e posicionamento totalmente automatizado dos dois jogadores ou unidade de processamento/máquina;
3. O sistema de identificação, como foi referido anteriormente, deve ser robusto de forma a detetar possíveis intrusões quando o sistema não o permitir no decorrer do jogo;
4. A interface deve ter uma boa interatividade com o jogador;
5. A interface deve permitir ao utilizador optar pelo modo de jogo que quer realizar, oferecer ao utilizador um panorama atual do jogo e permitir que as suas jogadas sejam feitas pela indicação da posição na interface disponível.



### 3 Solução desenvolvida

No presente capítulo, é apresentada a solução estudada no âmbito do trabalho de dissertação, que vai ao encontro da especificação do cliente e, conseqüentemente, permite cumprir os objetivos e requisitos da mesma. Inicialmente, é feita uma abordagem conceptual de uma alteração de solução face ao sistema inicial, seguindo-se uma apresentação global da solução encontrada, sendo indicadas as compatibilidades com os requisitos exigidos. De seguida, é descrito todo o equipamento utilizado bem como as suas características principais. Na parte final do capítulo é feita uma representação esquemática da solução.

A escolha final dos produtos e fabricantes estiveram baseados principalmente em dois fatores importantes, o custo e o prazo de entrega, não esquecendo também, fatores como facilidade de aplicação e compreensão da tecnologia.

#### 3.1 Enquadramento da solução

Como enunciado anteriormente, este trabalho de dissertação visa implementar uma nova solução de automatização de uma mesa do “Jogo do Galo”, uma vez que, a solução anteriormente existente se revelou ultrapassada pelos avanços tecnológicos entretanto ocorridos. Deste modo, após uma análise do sistema inicial e da especificação do cliente é feita uma observação das novas exigências para o sistema relativamente às características disponíveis no sistema anterior.

O sistema inicial apresenta um sistema de movimentação/posicionamento baseado num conjunto de cilindros pneumáticos. Sabendo que o objetivo lúdico deste sistema permanece inalterado e que a movimentação caracterizada por este sistema de cilindros é satisfatória e que é objetivo global do sistema manter uma solução de acionamento pneumático, é consensual admitir-se que podem ser utilizados para a nova solução a implementar. Esta movimentação está dividida em três partes:

- **Movimento horizontal:** A movimentação segundo os dois eixos horizontais é feita através de cilindros simétricos de duplo efeito sem haste numa malha fechada através

da constante monitorização da posição através de transdutores de posição absolutos. Esta movimentação revela-se satisfatória e necessária para o novo sistema;

- **Movimento vertical:** A movimentação vertical, caracterizada por duas posições limite fixas, avançado e recuado, associada a um gerador de vácuo, permite a boa retenção da bola quando necessária, sendo também adequada a sua permanência na nova solução;
- **Movimentos complementares:** Certamente movimentos menos importantes, mas existentes, relativos a sinalização de vitória ou de empate no fim de cada jogo. Estes movimentos possuem, também, duas posições não sendo necessária a sua substituição.

O sistema de comando dos eixos de posicionamento do sistema inicial é caracterizado por válvulas digitais de elevada dinâmica e um controlador dedicado e proprietário. Assim, o comando de todo o posicionamento torna-se rígido e limitado às suas configurações iniciais, o que não é pretendido para este sistema. Visto isto, é necessário efetuar uma análise de soluções para o comando pneumático e de um controlador adequado:

- **Comando pneumático:** Para o comando dos atuadores pneumáticos pretende-se uma solução de dinâmica razoavelmente elevada e atravancamento reduzido. Esta pode ter uma característica digital ou analógica (proporcional). Um sistema de atuação digital oferece capacidades de controlo mais limitadas mas eventualmente de menor custo. Podem ainda oferecer um menor atravancamento no caso de uma solução em bloco/terminal. A solução proporcional apresenta-se como mais capaz a nível de controlo mas os custos são consideravelmente superiores;
- **Controlador:** Para a escolha de um controlador, deve-se ter em consideração, principalmente, a sua capacidade de processamento, comunicação, leitura analógica e digital. Numa primeira abordagem, o autómato deve possuir pelo menos duas entradas analógicas pelo que é importante verificar a resolução necessária para uma leitura confortável da posição. Uma resolução de 12 *bit* pode permitir leituras com rigor superior à décima de milímetro para uma gama de medição de 200 mm. Relativamente a entradas e saídas digitais o sistema possui vários elementos de monitorização e, dependendo do sistema de atuação escolhido, poderá apresentar um número considerável de saídas digitais, pelo que o autómato deve garantir entradas e saídas digitais suficientes. Como é esperado do novo sistema uma elevada variedade tecnologia, é imperativo garantir boas capacidades de comunicação. Visto que, a natureza deste jogo é lenta, a capacidade de processamento do autómato pode tornar-se uma característica de menor importância na escolha do mesmo.



Relativamente à interface com os jogadores/utilizadores, esta é feita, na solução existente, com recurso a um computador. Esta solução revela-se pouco interessante devido ao seu elevado atravancamento e baixa interatividade com os jogadores. Deste modo, é proposta a consideração de utilização de uma HMI (*Human-Machine-Interface*) dedicada para o efeito.

Atendendo aos requisitos apresentados na especificação do cliente, surge a necessidade de dotar o sistema de características de visão para acompanhamento e reconhecimento de movimentações manuais. Esta capacidade não existente no sistema e jogo inicial. Para esta exigência podem ser abordadas duas soluções:

- **Intervenção humana:** Solução sem custos adicionais. Para esta solução, cada movimentação manual por um dos jogadores necessita da indicação, pelo utilizador, na interface das posições utilizadas;
- **Sistema de visão:** Solução com custos acrescidos. Esta solução é mais interessante devido às suas capacidades de verificação automática e ao objetivo de demonstração pretendido para o trabalho em curso.

Por último, e como consequência das características exigidas para este sistema, a comunicação entre todos os elementos do sistema pode ser realizada através de uma rede de comunicação local com recurso a portas *Ethernet* ou através de comunicações série com recurso a portas “COM”.

### 3.2 Apresentação da solução

De seguida, com base na conceção prévia acima descrita, é apresentada a solução que melhor se enquadra nas necessidades exigidas.

1. Para o sistema de movimentação a implementar, serão utilizados os componentes do sistema anterior, uma vez que, apresentam características adequadas para a nova solução;
2. Uma vez que as exigências de posicionamento e velocidade para este sistema não são elevadas, sendo razoável obter erros de posicionamento entre  $\pm 0,5$  e  $\pm 1$  mm, propõe-se que o comando dos eixos de movimentação seja feito através de válvulas digitais e o movimento se faça a velocidade constante, com paragem e bloqueamento do atuador em qualquer posição ao longo do seu curso. Atendendo à necessidade de compacidade da solução, as válvulas podem ser consideradas como constituintes de um bloco terminal de válvulas (ilha de válvulas). Estas válvulas apresentam uma

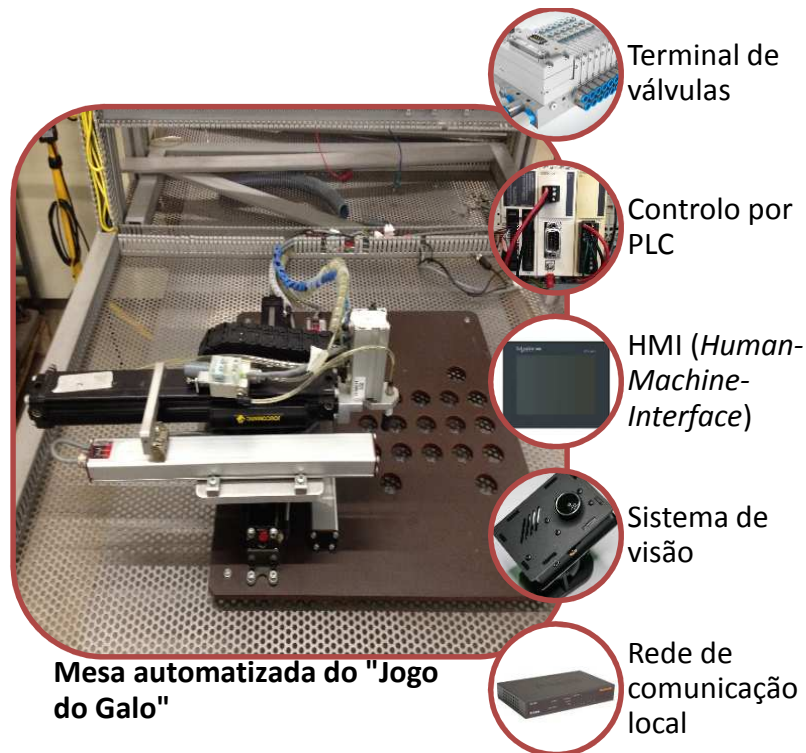
dinâmica eventualmente menor relativamente a válvulas isoladas devido às suas características construtivas mas não comprometem as exigências desta solução;

3. Para a solução de controlo central do sistema preconiza-se a utilização de um autómato modular de gama média baixa. As necessidades de tempo de ciclo não são importantes, dada a relação do sistema físico com os utilizadores humanos, e a sua característica modular permite obter uma maior flexibilidade na disponibilidade de entradas e saídas tanto digitais como analógicas para eventuais futuras evoluções;
4. A interface entre os jogadores e o sistema propõe-se ser realizada por uma HMI. Esta solução, como o próprio nome indica, é indicada para efetuar a interface entre um sistema e os utilizadores, proporcionando, neste caso, uma maior interatividade entre os utilizadores e o sistema físico do jogo, dadas as suas boas capacidades para entrada de informação por parte dos utilizadores, através do ecrã tátil, e igualmente boas capacidades de saída de informação, caso a HMI tenha ecrã policromático e boa resolução gráfica;
5. Relativamente aos meios de visão necessários para o sistema, propõe-se a utilização de um sistema de visão baseada em *webcam*, pelo seu custo reduzido, para a identificação policromática das bolas do jogo. Esta solução proporciona ao sistema uma maior dinâmica de jogo e um aumento do interesse tecnológico do sistema;
6. Para a comunicação entre os dispositivos do sistema foi pensada uma rede de comunicação local gerida por um *switch*<sup>2</sup>. Esta solução apresenta-se como a mais viável e correta devido à sua flexibilidade, protocolo de comunicação único e reduzido atravancamento relativamente à comunicação série. Esta, por tua vez, certamente iria apresentar problemas de implementação relativamente a portas de comunicação disponíveis.

Na ilustração 3.1 é feita uma apresentação, esquemática evidenciando os principais blocos da nova solução apresentada.

---

<sup>2</sup> *Switch*: Elemento que permite fazer a gestão de elementos de uma rede de comunicação e, através dele, é possível aceder a todos os equipamentos presentes na mesma.



**Ilustração 3.1 – Componentes principais da solução desenvolvida.**

Nos subcapítulos seguintes, é feita uma descrição mais detalhada da solução resumidamente descrita atrás.

### 3.3 Solução pneumática

Relativamente à solução pneumática, apenas é necessário fazer uma análise de solução do comando dos atuadores pneumáticos, ou seja, das válvulas pneumáticas a utilizar, uma vez que, os atuadores utilizados são os já existentes na mesa do "Jogo do Galo".

No estudo da solução pneumática, optou-se por utilizar um único tipo de arquitetura de válvulas, ou seja, as ilhas/terminais de válvulas compactas. Esta solução foi pensada no sentido de apresentar uma solução tecnologicamente atual e de reduzido atravancamento. Esta solução permite a utilização de protocolos de comunicação por rede industrial para a atuação das válvulas.

Por outro lado, com esta solução surge o obstáculo de que na sua solução mais simples de implementar todas as válvulas presentes no terminal de válvulas devem ter a pressão de alimentação comum à entrada, isto é, disposição das válvulas em paralelo, impossibilitando a ligação de válvulas em série.

De seguida, é feita uma descrição da solução pneumática encontrada para cada eixo de movimento horizontal.

### 3.3.1 Solução pneumática para eixos horizontais

Na ilustração 3.2 está representado o esquema pneumático relativo ao eixo 1, horizontal.

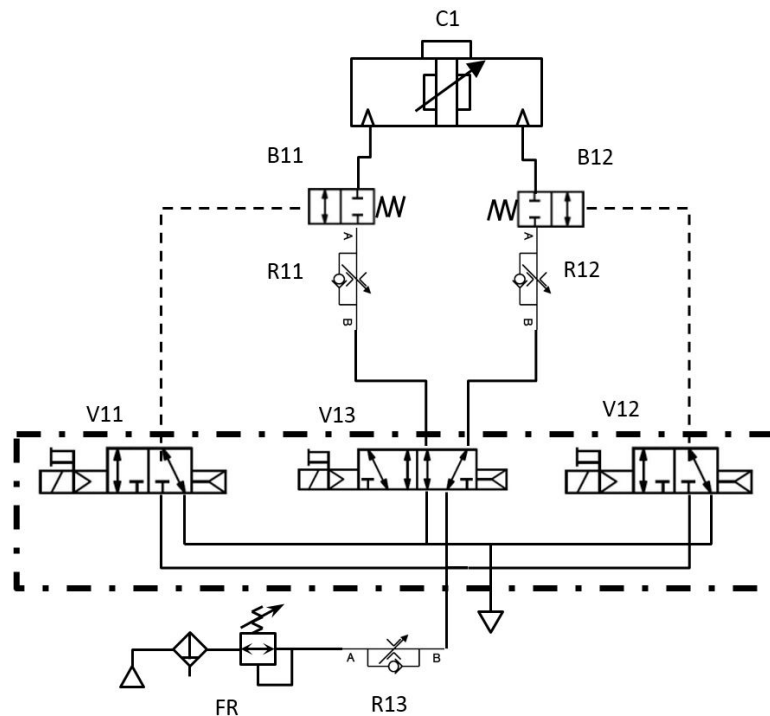


Ilustração 3.2 - Esquema pneumático simplificado de comando de um dos eixos horizontais.

O sistema pneumático para os eixos horizontais é constituído por:

- Duas válvulas eletropneumáticas direcionais monoestáveis 3/2 NC<sup>3</sup>, V11 e V12, que permitem efetuar a pilotagem das válvulas bloqueadoras, B11 e B12, que por sua vez efetuam o bloqueio do cilindro C1 e, assim, permitem o posicionamento pretendido. Com esta solução, em complemento, sempre que exista falha de energia de comando o atuador irá parar, e manter-se parado;
- Uma válvula eletropneumática direcional monoestável 5/2 NC, V13, que permite deslocar o atuador horizontal nos dois sentidos;
- Duas válvulas bloqueadoras 2/2 NC (válvulas de retenção pilotadas), B11 e B12, que efetuam o bloqueio do cilindro quando a pilotagem não é realizada, qualquer que seja o estado de comando da válvula V13;
- Um cilindro pneumático simétrico, sem haste e com amortecimento, de duplo efeito, C1;

<sup>3</sup> NC: *Normally closed* (normalmente fechada).

- Dois estranguladores unidirecionais montados em *meter out*, que regulam o caudal de ar à saída de cada câmara do cilindro pneumático, R11 e R12, limitando assim a sua velocidade.

### 3.3.2 Solução pneumática para eixo vertical

Na ilustração 3.3 está presente o esquema pneumático relativo ao eixo vertical que efetua a colocação da bola na mesa de jogo.

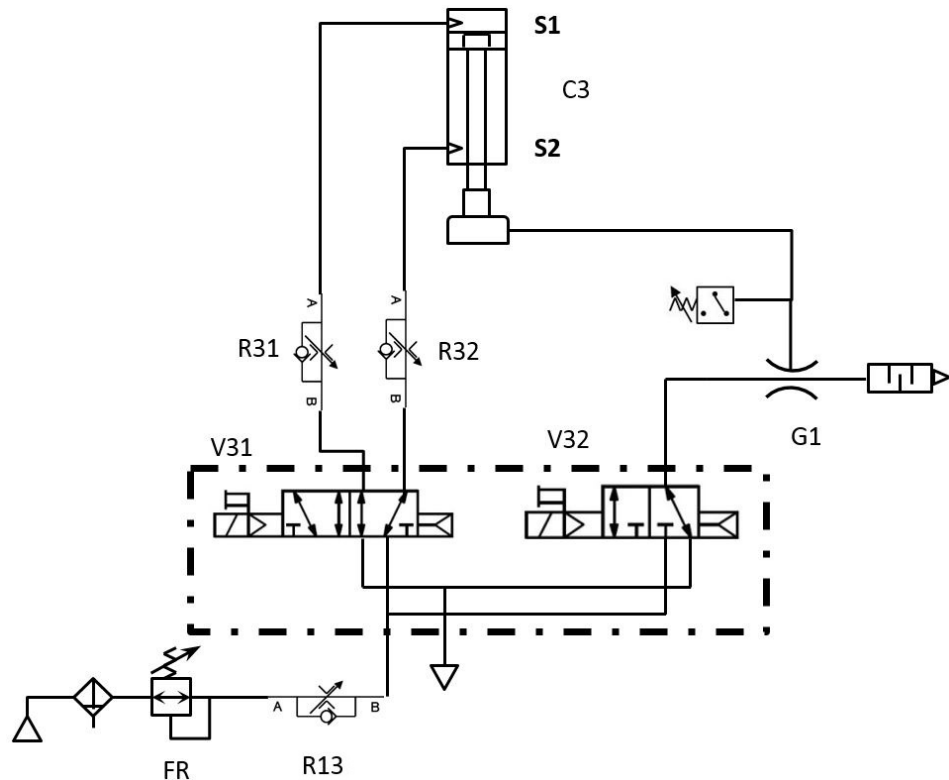


Ilustração 3.3 - Esquema pneumático simplificado de comando do eixo vertical.

O sistema pneumático para o eixo vertical é constituído por:

- Uma válvula eletropneumática direcional monoestável 5/2 NC, que determina o sentido em que o cilindro se desloca, V31. Com esta solução sempre que haja falta de sinal de comando o atuador encontra-se na posição superior, deixando de interferir com eventuais outros componentes;
- Uma válvula eletropneumática direcional monoestável 3/2 NC, V32, que está associada ao gerador de vácuo e, quando atuada, permite a geração de vácuo e consequentemente a possibilidade de reter a bola de jogo;
- Um cilindro pneumático assimétrico com êmbolo magnético de duplo efeito, C3. A este atuador estão associados dois detetores de fim de curso, S1 e S2;

- Dois estranguladores unidirecionais montados em *meter out*, que permitem efetuar a regulação do caudal de ar à saída de cada câmara do cilindro, R31 e R32;
- Um gerador de vácuo com *feedback* elétrico, G1: este gerador é ativado quando a válvula monoestável 3/2 NC, V32, é atuada.

### 3.3.3 Solução pneumática para movimentos complementares

Na ilustração 3.4 é apresentado o esquema pneumático relativo aos movimentos complementares correspondentes ao sistema de sinalização do resultado de cada jogo.

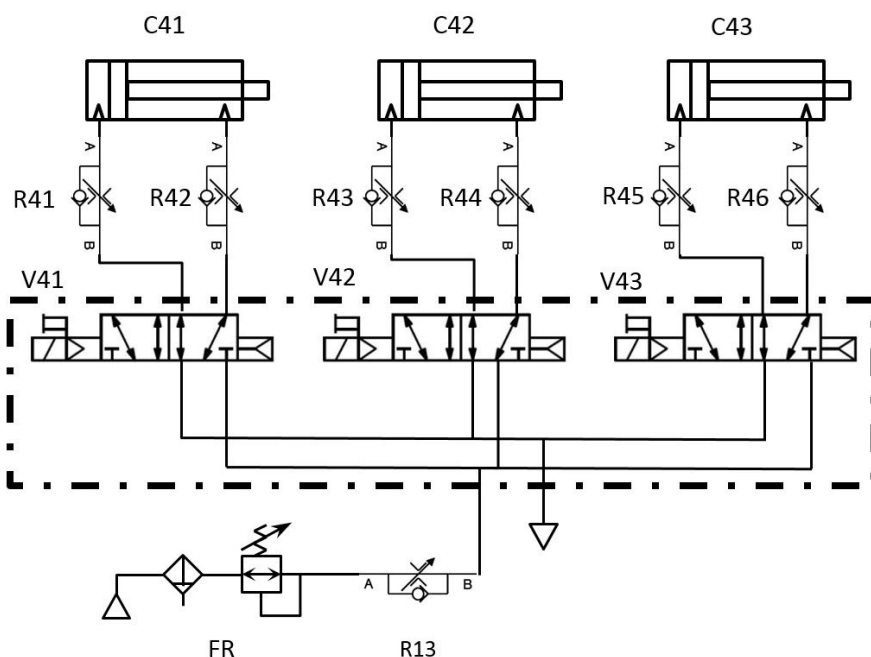


Ilustração 3.4 - Esquema pneumático dos três cilindros de sinalização.

Por último, o sistema pneumático de movimentação dos três cilindros de duplo efeito assimétricos, que permitem a sinalização de jogo (vitória e empate), é constituído por:

- Três válvulas eletropneumáticas direcionais 5/2 NC, V41, V42 e V43, para o comando dos atuadores lineares;
- Seis estranguladores unidirecionais *meter out* (dois para cada cilindro);
- Três cilindros pneumáticos de duplo efeito assimétricos.

Como referido no início deste capítulo, de seguida é feita uma descrição do bloco ilha/terminal de válvulas selecionado para este projeto de dissertação cujos detalhes construtivos e de especificação de seleção requerem uma compreensão atenta. Os restantes terminais alternativos que foram analisados e comparados com o terminal de válvulas selecionado encontram-se no anexo G.

### 3.3.4 Solução com equipamento *FESTO*

Após uma cuidada análise de diferentes propostas de solução correspondentes a diferentes fornecedores, foi escolhido o fornecedor *FESTO*. Relativamente a este fabricante, foram analisados dois modelos de terminais de válvulas. Segue-se a descrição do terminal de válvulas escolhido para este trabalho.

#### 3.3.4.1 Terminal de válvulas VTUG

Na ilustração 3.5, está representado o terminal de válvulas do modelo VTUG da *FESTO*. Como poderá ser verificado nos exemplos de válvulas analisados, ver anexo G, este terminal de válvulas apresenta uma configuração estrutural relativamente diferente do habitual. Neste, o suporte e a alimentação de ar comprimido das válvulas pneumáticas é assegurado por um barramento (*manifold rail*<sup>4</sup>) único em alumínio e não por elementos modulares individuais ou duplos. Este facto permite assegurar mais robustez ao terminal mas, por outro lado, é observada uma redução de flexibilidade desta solução devido ao facto de apenas serem permitidas quantidades de válvulas padronizadas conforme o tamanho do barramento. (10)

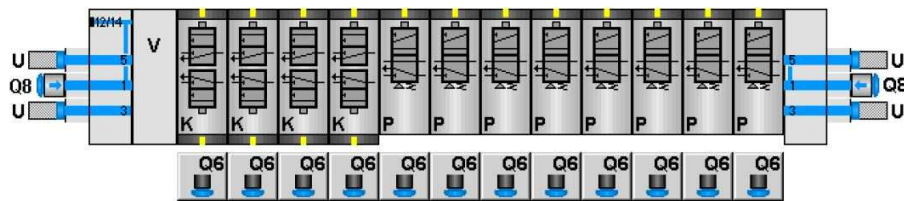


Ilustração 3.5 - Esquema de terminal VTUG da FESTO. (10)

De seguida na tabela 3.1, é apresentado o resumo das características gerais deste terminal de válvulas.

<sup>4</sup>*Manifold rail*: base/barramento de alimentação e escape.

Tabela 3.1 - Resumo de características gerais do terminal de válvulas VTUG da FESTO. (10)

<i>Caraterística</i>	<i>Valor</i>
<b>Configuração pneumática básica</b>	
<b>Tipo de produto</b>	VTUG
<b>Tamanho de válvulas</b>	Largura 10 mm
<b>Pilotagem das válvulas</b>	Interface para módulo de comunicação
<b>Tipo de válvula</b>	Válvula de assentamento sobre base
<b>Tensão de trabalho nominal</b>	24 VDC
<b>Conexão de alimentação de pressão</b>	Conexão para tubo de 8 mm
<b>Conexão de escape</b>	Silenciador
<b>Conexão nas válvulas</b>	Conexão para tubo de 6 mm
<b>Configuração elétrica básica</b>	
<b>Protocolo de bus/acionamento</b>	I-Port/IO-LINK (conexão via CTEU)

As válvulas selecionadas para esta solução são válvulas de assentamento sobre base, ou seja, a sua alimentação e escape são efetuados por uma base comum e todas iguais. As válvulas de três orifícios e de duas posições, K, 3/2 NC, ref: T32C-AZT-F-1T1L, requeridas, estão inseridas na mesma estrutura. Isto significa que, uma posição ocupada por uma eletroválvula 3/2 monoestável permite a utilização de duas válvulas na mesma posição, válvulas do tipo K, como podemos observar na ilustração 3.6. (10)

Na ilustração 3.6 está também apresentada esquematicamente a válvula 5/2 NC, P, uma válvula normal, ref: M52-RZT-F-1T1L, que ocupa uma posição no barramento, o mesmo que duas válvulas 3/2 NC com um só solenoide.

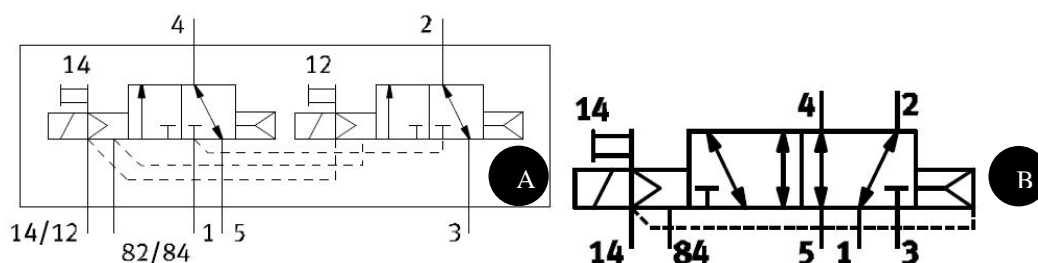


Ilustração 3.6 – A) Válvula pneumática dupla 3/2 NC; B) Válvula pneumática 5/2 NC. (10)

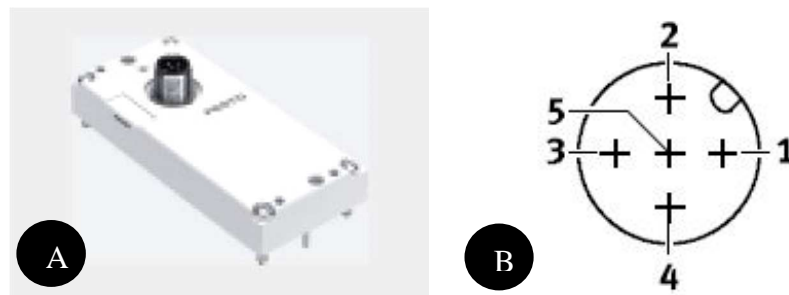
De seguida, na tabela 3.2 é apresentado um resumo de informações técnicas dos dois tipos de válvulas requeridas.



**Tabela 3.2 - Informação técnica das válvulas. (10)**

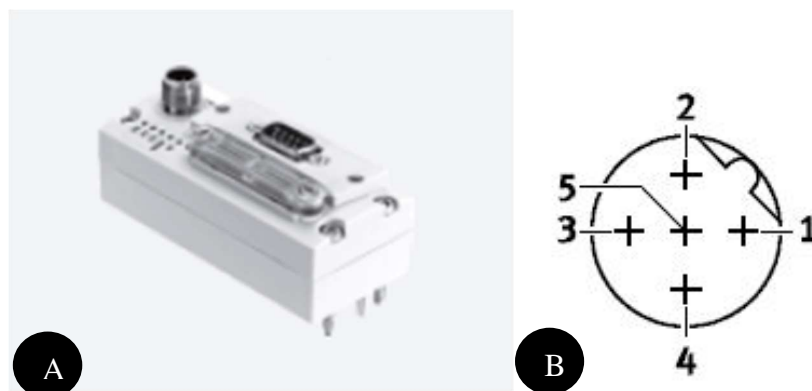
<i>Características</i>	<i>T32C-AZT-F-1T1L</i>	<i>M52-RZT-F-1T1L</i>
Posição estável	Monoestável	
Meio de retorno	Mola pneumática	Mola pneumática/mecânica
Acionamento manual auxiliar	Acionamento manual com retenção	
Caudal nominal	160 l/min	300 l/min
Pressão de serviço (externo)	1.5 a 10 bar	0.9 a 10 bar
Conexão elétrica	Via barramento	
Tensão de funcionamento	24 ±10% VDC	
Potência consumida	1 ou 0.4 W depois de 25 ms	
Tempo ao ligar	8 ms	9 ms
Tempo ao desligar	20 ms	21 ms

Relativamente ao equipamento de comunicação, a *FESTO* apresenta em todos os modelos que representa, uma solução universal de comunicação (*IO-LINK*) através de uma ficha M12 de 5 pinos que faz a interface com o meio de comunicação que desejarmos, ilustração 3.7.



**Ilustração 3.7- A) IO-LINK Interface e estrutura de ligação; B) Esquema representativo de uma ficha M12 de 5 pinos. (10)**

Neste trabalho, foi definido utilizar o protocolo de comunicação *CANopen* para comunicar entre o terminal de válvulas e o autómato. O módulo *CANopen* da *FESTO* está presente na ilustração 3.8 e é colocado sobre o módulo IO-LINK. Este módulo, possui essencialmente duas fichas de ligação: Uma ficha SUB-D9 para comunicação com o autómato e uma ficha M12 de 5 pinos B-CODED para a tensão de alimentação de todos os elementos do terminal. A tensão de alimentação do terminal é de 24 VDC. (11)



**Ilustração 3.8 - A) Módulo CTEU-CO (CANopen); B) Esquema representativo de uma ficha M12 de 5 pinos B-CODED. (11)**

Na tabela 3.3 são apresentadas as informações técnicas da ficha M12 de 5 pinos.

**Tabela 3.3 - Layout das fichas M12 de 5 pinos. (11)**

<i>Pino</i>	<i>Atribuição</i>	<i>Descrição</i>
<b>1</b>	$24 V_{EL/SEN}$	Tensão de alimentação de funcionamento (eletrónica, sensores/entradas)
<b>2</b>	$24 V_{VAL/OUT}$	Tensão de alimentação de válvulas/saídas
<b>3</b>	$0 V_{EL/SEN}$	Tensão de alimentação de funcionamento (eletrónica, sensores/entradas)
<b>4</b>	C/Q	Comunicação de dados
<b>5</b>	FE	<i>Functional earth</i>

Por último, o módulo CTEL apresentado na ilustração 3.9, foi pensado para esta solução no sentido de reunir requisitos para que num futuro seja possível fazer a ligação elétrica deste terminal de válvulas a outro equipamento, permitindo assim a adição de mais nós na rede *CANopen*. Este módulo, apesar de permitir a ligação do módulo CTEU-CO, não é um elemento modular no terminal de válvulas, pelo que deve ser montado separadamente. O módulo CTEL possui duas fichas M12 de 5 pinos que permitem, respetivamente, a entrada e saída do módulo. (11)



**Ilustração 3.9 - Módulo CTEL. (11)**

### 3.3.4.2 Unidade de tratamento de ar

Para este projeto foi, também, necessário adquirir uma unidade de tratamento de ar. Esta unidade é constituída por um filtro e um regulador, ref: LFR-1/4-D-7-MIDI, da *FESTO*, ilustração 3.10. Como o terminal de válvulas selecionado para este projeto é uma solução da *FESTO*, decidiu-se encomendar a unidade de tratamento de ar ao mesmo fabricante. (12)



Ilustração 3.10 - Unidade FR (filtro e regulador) da FESTO. (12)

### 3.3.4.3 Acessórios *LEGRIS/PARKER*

Por último, as 4 válvulas bloqueadoras 2/2 NC presentes na solução pneumática são válvulas da *LEGRIS*, ref: 78800610, ilustração 3.11. São efetivamente válvulas de retenção pilotadas que são atuadas pneumaticamente. (8)



Ilustração 3.11 - Válvula bloqueadora LEGRIS. (8)

Do mesmo fabricante foram selecionados 4 estranguladores unidirecionais para montagem em *meter out*, ref: 70300600, ilustração 3.12, para efetuar a regulação de caudal dos dois cilindros horizontais de ref: STB 25 A200 Este tipo de estranguladores têm a particularidade de possuírem ligação de encaixe rápido para tudo de 6 mm. (8)



Ilustração 3.12 - Estrangulador unidirecional com ponta cilíndrica. (8)

Na tabela 3.4, estão apresentados os componentes adquiridos da *LEGRIS*.

Tabela 3.4 - Componentes da *LEGRIS*.

<i>Componentes</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Referências</i>
Válvula bloqueadora 2/2 NC;	4 unidades	78800610
Restritores unidirecional;	4 unidades	70300600

3.4 Autómatos TWIDO, Schneider Electric

Na análise da solução para o problema deste trabalho e tendo em conta os requisitos apresentados, concluiu-se que, o sistema não possuía requisitos de elevada exigência relativamente ao tempo de ciclo do autómato, pelo que foi escolhido um autómato de gama média baixa da *Schneider Electric* de modelo *TWIDO*, já existente e disponível no Departamento de Engenharia Mecânica, ilustração 3.13.

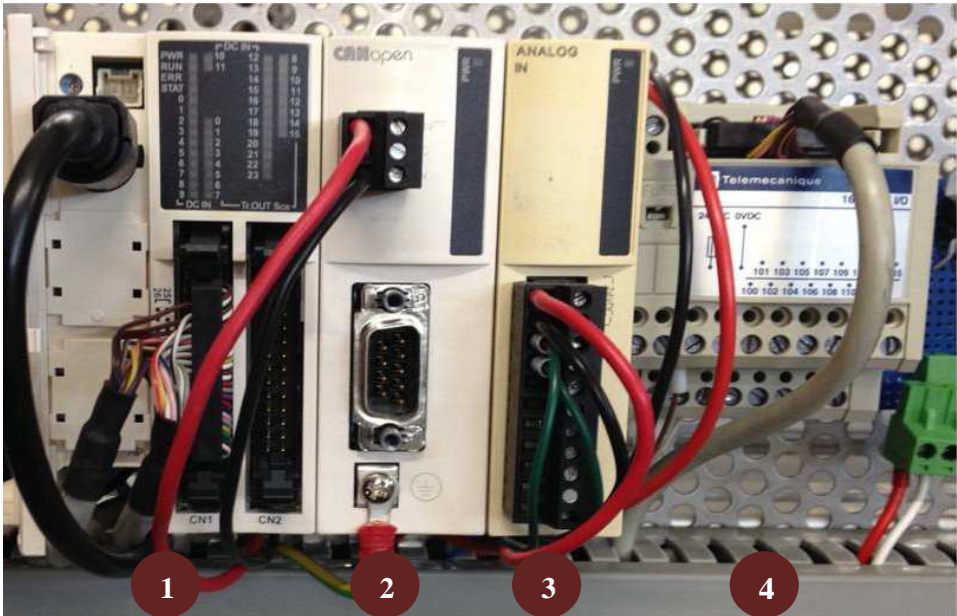


Ilustração 3.13 - Autómatos TWIDO e respetivos elementos modulares. 1- Controlador modular TWIDO, *Schneider Electric*; 2- Módulo de comunicação *CANopen*, 3- Módulo de expansão de entradas analógicas; 4- Base de entradas/saídas digitais (Sistema pré-cablagem da Telfast).

De seguida é feita uma descrição dos módulos para o autómato, *TWIDO*, que foram necessários para este projeto.

### 3.4.1 Controlador modular *TWIDO*

O autómato programável *TWIDO* possui uma unidade base de processamento modular de ref: TWDLMA40DTK, que possibilita a ligação até sete módulos de expansão, ilustração 3.14. Esta base é alimentada a 24 VDC e possui 40 entradas/saídas digitais, das quais:

- 24 são entradas digitais (24 VDC);
- 16 são saídas digitais por transístor.

As portas de entradas/saídas digitais permitem a ligação de fichas HE 10 que, por sua vez, comunicam com as bases externas onde estão ligados os elementos digitais.

Por último, esta base modular possui os protocolos de comunicação *Modbus* mestre/escravo (RTU/TCP), ASCII, E/S *remote link*. A comunicação com o *software* de programação *TwidoSuite*® pode ser feita através de uma rede industrial local ou via *Bluetooth* que atribui uma porta COM para a comunicação. (13)



Ilustração 3.14 - Controlador modular twido. (13)

### 3.4.2 Módulo de comunicação *CANopen*

O módulo de comunicação *CANopen* permite a comunicação entre o autómato e o terminal de válvulas, ilustração 3.15. Esta comunicação efetua-se através da ficha SUB-D9 presente no módulo. Este módulo permite no máximo 16 equipamentos, ou nós. Neste projeto, o módulo de comunicação em questão apenas possui de momento um nó, ou seja, um escravo.

O módulo de comunicação *CANopen* necessita de alimentação de 24 VDC localmente. (13)



Ilustração 3.15 - Módulo de comunicação *CANopen*. (13)

### 3.4.3 Módulo de entradas e saídas analógicas

O módulo de entradas e saídas analógicas ref: TM2AMM3HT possui as seguintes características (13):

- 2 entradas analógicas isoladas;
- 1 saída analógica isolada;
- Alimentação de 24 VDC realizada localmente;
- Gama de funcionamento de cada entrada e saída: [0-10]V ou [4-20]mA;
- Resolução de 12 *bit* (4096 unidades de autómato);
- Tempo de aquisição: 60 *ms* mais o tempo de ciclo do autómato.

Este módulo de entradas e saídas analógicas permite a leitura dos transdutores de posição absolutos magnetostrictivos, ilustração 3.16.



Ilustração 3.16 - Módulo de expansão de entradas e saídas analógicas. (13)

### 3.4.4 Base de entradas digitais

A base de entradas digitais da gama *Advantys ABE7* pertence ao sistema de pré-cablagem *Telefast®*. Esta base passiva, *Optimum*, possui 12 entradas digitais. A tensão de alimentação é de 24 VDC, ilustração 3.17. (13)

Nesta base de entradas digitais estão conectadas seis entradas:

- Dois detetores de proximidade magnéticos;
- Um sinal de monitorização proveniente do gerador de vácuo;
- Um pressostato;
- Dois detetores fotoelétricos referentes à barreira de deteção de intrusão;
- Um contacto normalmente aberto da botoneira de emergência.



Ilustração 3.17 - Módulo externo Telefast 16 Digital I/O. (13)

### 3.4.5 Módulo de comunicação *Ethernet*

O módulo de comunicação *Ethernet* permite inserir e consequentemente identificar o autómato na rede industrial local que será implementada neste projeto de dissertação. Deste modo, o autómato será capaz de comunicar com a HMI e com o sistema de visão assente no protocolo de comunicação *Modbus TCP*, ilustração 3.18. (13)

Este módulo possui as seguintes características:

- Tensão de alimentação de 5V;
- Porta *Ethernet* RJ45 10BASE-T/100BASE-TX;
- Tipo de ligação: TCP/IP.



Ilustração 3.18 - Módulo *Ethernet*. (13)

### 3.5 Solução de supervisão e monitorização

#### 3.5.1 HMI - Human-Machine-Interface

Um dos requisitos deste projeto foi tornar este sistema automatizado do "Jogo do galo", num sistema dotado de uma interface-homem-máquina. Para isso, foi feito um estudo do equipamento mais adequado às necessidades desta solução. Este estudo esteve debruçado no equipamento da *Schneider Electric*, pois como o autómato escolhido para este projeto foi um autómato da *Schneider Electric*, foi de grande interesse assegurar uma HMI do mesmo fabricante para ver facilitada a comunicação e partilha de informação entre ambos. Por outro lado, e de igual importância, foi tido em conta o tempo de entrega do equipamento, o que neste caso em concreto foi relativamente curto. Este sistema não engloba requisitos funcionais exigentes na escolha da HMI. Por esta razão, foi escolhida uma HMI económica e com tamanho ideal de modo a conceder um ambiente de jogo apelativo. A HMI escolhida foi de modelo *Magelis STU 855* da *Schneider Electric*, ilustração 3.19.



Ilustração 3.19 - HMI *Magelis STU 855* da *Schneider Electric*.

A HMI possui dois elementos principais: o ecrã e o elemento de processamento, ilustração 3.19 e 3.20, respetivamente. A HMI *Magelis STU 855* dispõe de um ecrã tátil de 5.7" que apresenta a interatividade que foi desenvolvida para o(s) utilizador(es). A HMI é o elemento mestre de toda a instalação automatizada, ou seja, é neste dispositivo que é realizado o processamento do jogo e comunicação com o sistema de controlo, o autómato (escravo). O mesmo aplica-se ao sistema de imagem que, quando ordenado pela HMI inicia a captura de imagem e posterior processamento da mesma. (14)





Ilustração 3.20 - Elemento de processamento da *Magelis HMI STU 855* da *Schneider Electric* (vista posterior).

De seguida é apresentado, na tabela 3.5, um quadro resumo das características deste equipamento.

Tabela 3.5 - Caraterísticas principais do terminal *Magelis STU 855*. (13) (14)

<i>Tipo</i>	<i>Caraterísticas</i>
<b>Ecrã</b>	5.7" (polegadas)
<b>Cor</b>	65536 cores
<b>Resolução gráfica</b>	320x240 pixéis (QVGA)
<b>Comunicação</b>	
<b>Ligação série</b>	RJ 45 (RS232 e RS 485)
<b>Redes</b>	Ethernet (10 base T/100Base-TX)
<b>Portas USB</b>	- Possibilitar a descarga de programas do <i>software</i> de programação <i>Vijeo Designer</i> ®; - Adição de memória <i>flash</i> .
<b>Protocolos</b>	<i>Modbus (RTU/TCP)</i> , etc <sup>5</sup>
<b>Tensão de alimentação</b>	24 VDC
<b>Memória</b>	
<b>Flash</b>	32 MB
<b>FRAM (Backup de dados)</b>	64 KB
<b>DRAM (execução de aplicação)</b>	64 MB

<sup>5</sup> Protocolos desenvolvidos por outros fabricantes, tais como, Melsec (Mitsubishi), Sysmac (Omron), Simatic (Siemens).

### 3.5.2 Barreira imaterial

A barreira imaterial neste trabalho é bastante elementar e constituída por detetores fotoelétricos difusos, ref: XUM5APANM8, ou seja, detetores que possuem um emissor e um recetor no mesmo equipamento, ilustração 3.21. Quando a radiação emitida interceta um objeto, é refletida e recebida pelo recetor. Neste caso específico, estes detetores vêm permitir criar uma barreira imaterial entre o jogador e o tabuleiro de jogo. Quando, no curso de alcance, é detetado um corpo estes efetuam o fecho de um contacto transmitindo assim a informação de intrusão ao sistema de controlo e consequentemente é desencadeada a ação adequada.

Deste modo, a barreira impede o contacto físico entre o jogador e o sistema de posicionamento em movimento, evitando um possível acidente, exceto quando a jogada manual é autorizada, isto é, quando o sistema de posicionamento se encontra na posição de repouso.

De seguida, na tabela 3.6, são apresentados as características principais dos detetores fotoelétricos.

Tabela 3.6 - Características de detetor fotoelétrico. (15)

<i>Caraterísticas do detetor fotoelétrico</i>	
<b>Curso de deteção (máximo)</b>	600 <i>mm</i>
<b>Tensão de alimentação</b>	24 VDC
<b>Caraterística da saída digital</b>	por transistor PNP
<b>Atraso de comutação</b>	1 <i>ms</i>
<b>Frequência de comutação</b>	500 <i>Hz</i>



Ilustração 3.21 - Detetor fotoelétrico da *Schneider Electric*. (15)

### 3.6 Solução para aquisição de imagem

Como foi dito anteriormente, um dos requisitos deste sistema é permitir aos jogadores efetuar jogadas posicionando "manualmente" as bolas no ambiente de jogo. Deste modo, ficou definido a utilização de uma HMI para efetuar o controlo e interface de jogo e foi necessário criar um sistema de aquisição de imagem para que a jogada seja reconhecida quando pretendida, e assim, poder gerar respostas consoante a sua leitura.

Este sistema é constituído por um micro computador de baixo custo, *Raspberry Pi*, modelo B, desenvolvido para fins didáticos com elevadas capacidades de processamento e uma câmara dedicada para esta tecnologia, OV5647, ilustração 3.22. Este computador foi desenvolvido no Reino Unido pela fundação *Raspberry Pi* e o objetivo principal da fundação com o seu desenvolvimento foi promover ou estimular o ensino das ciências computacionais para níveis escolares inferiores ao ensino superior. (16)

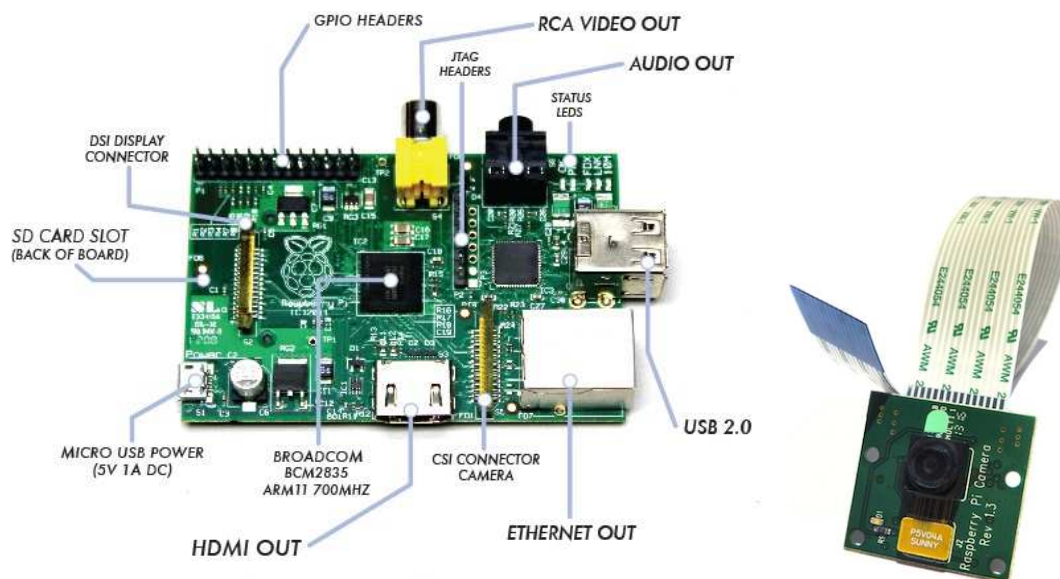


Ilustração 3.22 - *Raspberry Pi* (principais componentes) e câmara

A câmara indicada na ilustração 3.22 é conectada no *Raspberry Pi* através do conector CSI.

Nas tabelas seguintes, 3.7 e 3.8, estão presentes os elementos constituintes e características principais do computador *Raspberry Pi* e da câmara OV5647.

Tabela 3.7 – Características do computador Raspberry Pi modelo B. (16)

<b>Raspberry Pi - Modelo B</b>	
<b>Soco<sup>6</sup> (System-on-a-chip)</b>	<i>Broadcom BCM2835</i>
<b>CPU</b>	700 MHz ARM1176JF-S core
<b>GPU<sup>7</sup></b>	<i>Broadcom VideoCore IV</i>
<b>Memória SDRAM</b>	512 MB
<b>Portas USB</b>	2 portas USB integradas
<b>Saídas vídeo</b>	RCA, HDMI
<b>Saída de áudio</b>	Conector de 3.5 mm
<b>Armazenamento<sup>8</sup></b>	<i>Slot</i> para cartão SD
<b>Rede</b>	<i>Ethernet</i> (Porta RJ45)
<b>Periféricos</b>	- 8 portas I/O programáveis GPIO - UART - I <sup>2</sup> C SPI
<b>Alimentação</b>	5V 700mA
<b>Sistemas Operativos</b>	<i>Raspbian</i> (oficial), <i>Openelec</i> , <i>Fedora</i> , <i>Arch Linux</i> , <i>RISC OS</i>

Tabela 3.8 - Características da câmara OV5647. (16)

<b>Câmara OVNIVISION 5647</b>	
<b>Resolução (máxima)</b>	5 Megapixéis (2592 x 1944)
<b>Modos de vídeo</b>	1080p30, 720p60, (640 x 480)p60/90

### 3.7 Switch para rede industrial local

Neste projeto, foi incorporado um *switch* para integrar todos os dispositivos utilizados numa rede local. Assim, é possível comunicar entre dispositivos sempre assente numa plataforma única de comunicação.

<sup>6</sup> SoC: Sistema baseado num chip em que todos os componentes do computador estão inseridos num circuito integrado.

<sup>7</sup> GPU: Unidade de processamento de gráficos.

<sup>8</sup> Computador *Raspberry Pi* não possui memória não volátil, pelo que necessita de um cartão SD armazenamento.

Deste modo, o *switch* implementado é um *switch* da *D-LINK* de ref: DES-1008D que permite interligar até 8 dispositivos através de 8 portas RJ45. Este possui uma alimentação de 5V e de 2.4 A, ilustração 3.23. (17)



**Ilustração 3.23 - Switch da D-LINK. (17)**

### **3.8 Representação esquemática da solução**

Após uma descrição detalhada da solução estuda é, na ilustração 3.24, feita uma apresentação esquemática, resumida.

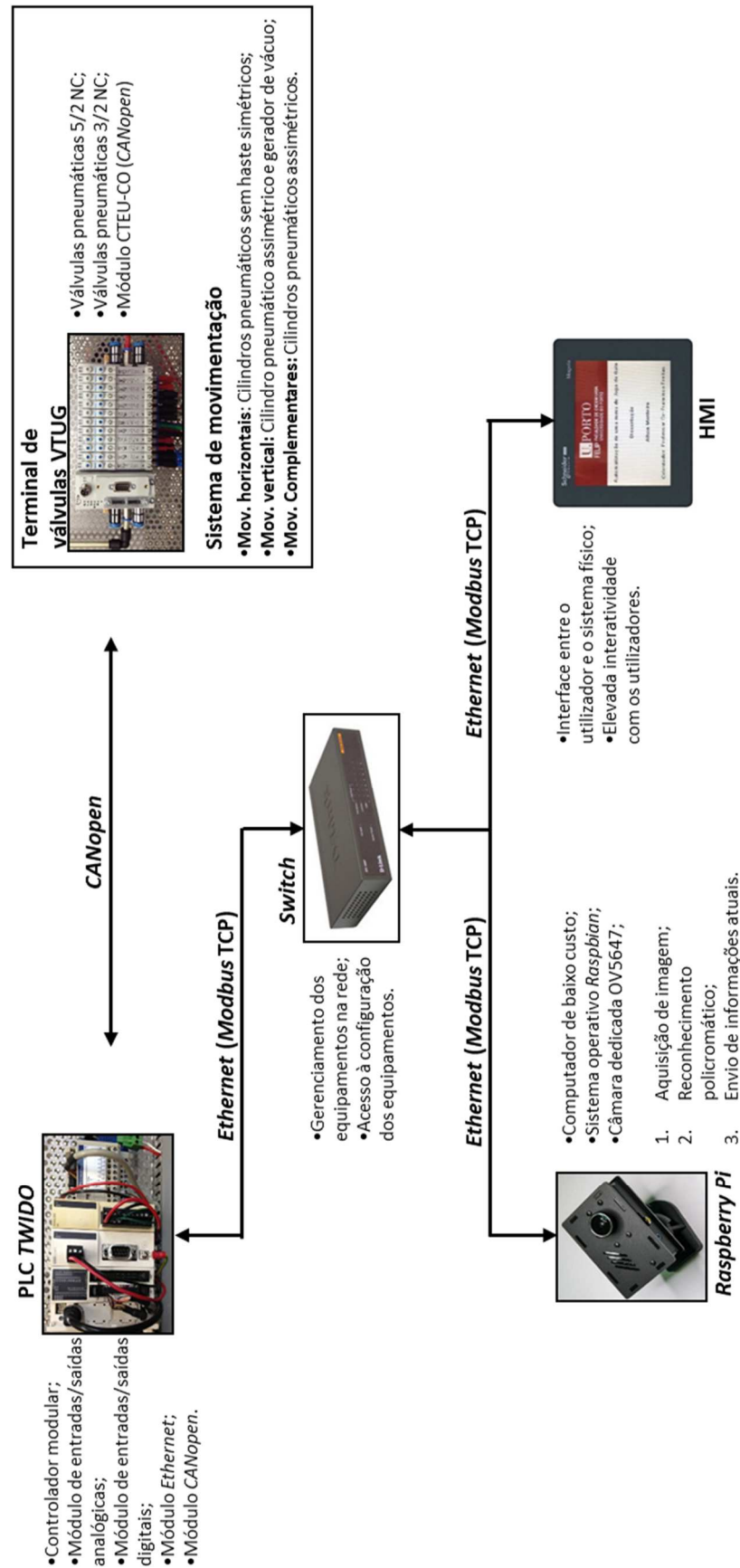


Ilustração 3.24 – Esquema representativo da solução estudada.

## 4 Implementação da solução

Neste capítulo é feita uma apresentação e descrição de todas as etapas da implementação da solução baseada na utilização dos equipamentos apresentados e estudados nos capítulos anteriores.

A implementação deste sistema está essencialmente dividida em quatro áreas:

1. **Sistema eletropneumático e seu comando**, que está associado aos elementos de atuação pneumáticos e ao seu comando tanto a nível do autómato como do terminal de eletroválvulas;
2. **Supervisão e controlo do jogo**, que está associado diretamente ao elemento mestre deste sistema, a HMI;
3. **Sistema de imagem**, que permite a um jogador efetuar movimentações manuais e estas serem reconhecidas pelo sistema de imagem e comunicadas à HMI, unidade de controlo do jogo;
4. **Rede de comunicação industrial local**, que permite a identificação, localização e sincronização de todos os equipamentos.

### 4.1 Sistema eletropneumático e seu comando

A primeira abordagem da implementação efetuada é relativa ao sistema físico de posicionamento. Este subcapítulo está dividido, essencialmente, em três partes:

- Na primeira parte é explicado o funcionamento mecânico dos componentes pneumáticos enumerados anteriormente para o efeito sendo, também, abordadas as técnicas utilizadas para um bom funcionamento do mesmo relativamente às especificações iniciais;
- Numa segunda parte deste subcapítulo é feita uma descrição da programação efetuada no autómato para o controlo do sistema pneumático;
- Na terceira parte é discutida a implementação da comunicação (*CANopen*) entre o autómato e o terminal de válvulas.

#### **4.1.1 Posicionamento por comando de válvulas digitais**

Como indicado no capítulo anterior, a movimentação das bolas de jogo é efetuada por três movimentos, sendo:

- Um movimento vertical para reter a bola durante a movimentação horizontal;
- Dois movimentos ortogonais de posicionamento, com os eixos horizontais.

Estes dois últimos movimentos são mais críticos e são abordados de seguida com detalhe devido à sua característica mecânica e relevância para o funcionamento do sistema.

A movimentação de uma bola de um ponto para outro realiza-se a uma velocidade constante, definida por estranguladores. É conhecido que o posicionamento do atuador pneumático em qualquer ponto do seu curso é uma tarefa de grande dificuldade, quando se deseja um posicionamento com um certo rigor. Neste caso, o seu posicionamento, isto é, a sua paragem, é assegurada através do fecho de válvulas bloqueadoras presentes diretamente nos orifícios de cada câmara do atuador pneumático, de modo a evitar ao mínimo fenómenos de compressibilidade do ar. O fecho destas válvulas ocorre sempre que deixam de ser pilotadas.

Sendo esta ordem de paragem dada quando é atingida a posição pretendida, o posicionamento efetivamente obtido irá ter, no entanto, um erro associado ao tempo de resposta do sistema à paragem. Esse tempo dependerá de diversos elementos físicos que contribuem para essa paragem: tempo de resposta do autómato, resposta das eletroválvulas pneumáticas e dinâmica dos atuadores, nomeadamente a compressibilidade do ar. Sendo a velocidade dos atuadores reduzida, o erro espacial de posicionamento poderá não ser significativo, mas será sempre de ter em devida conta.

Para determinar a magnitude deste fenómeno para o caso particular do sistema em estudo, foi feita uma análise experimental inicial pormenorizada do comportamento dos dois atuadores ao longo do seu curso útil. Para isso, foi utilizado um osciloscópio que monitoriza o sinal proveniente dos dois transdutores de posição absolutos associados aos atuadores.

Inicialmente, procedeu-se ao ajuste da velocidade dos atuadores para que seja garantida uma velocidade igual e conhecida para ambos os atuadores e para ambos os sentidos de movimento. A velocidade dos dois atuadores foi ajustada a cerca de 50 mm/s, a que corresponde a um tempo máximo de movimento de cada atuador de 4s.

##### **4.1.1.1 Resultados experimentais**

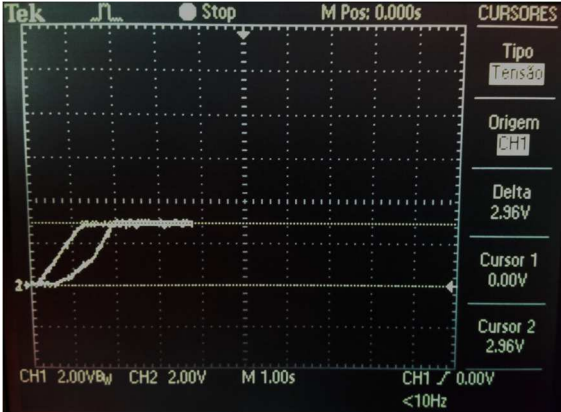
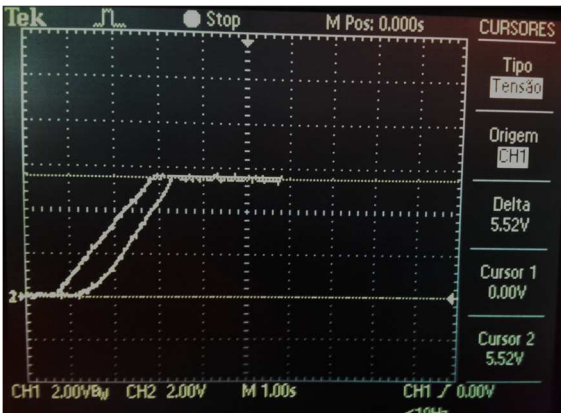
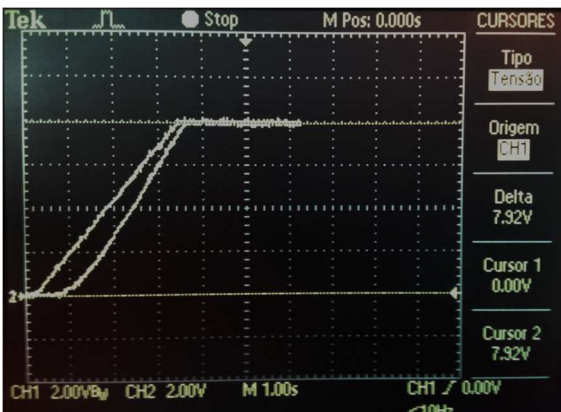
Foram realizados movimentos dos dois cilindros desde a sua posição mais recuada até à sua posição de paragem desejada, nomeadamente a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  do seu curso, a que corresponde



na escala de medição do transdutor de posição, e em unidades de autômato, a, respetivamente, 2,5V (1024 u.a), 5V (2048 u.a) e 7,5V (3072 u.a).

De seguida, na tabela 4.1 e 4.2 são apresentados os resultados obtidos para as medidas acima referidas para os dois sentidos do atuador, avanço e recuo.

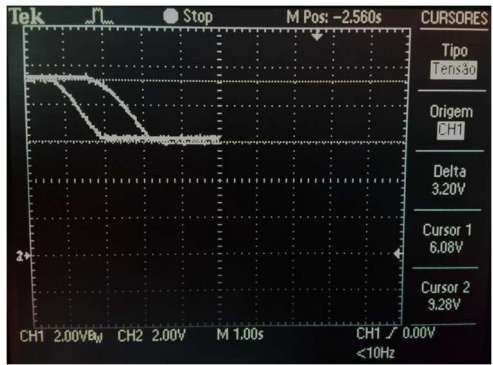
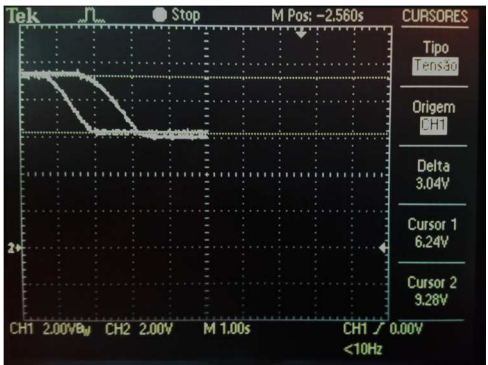
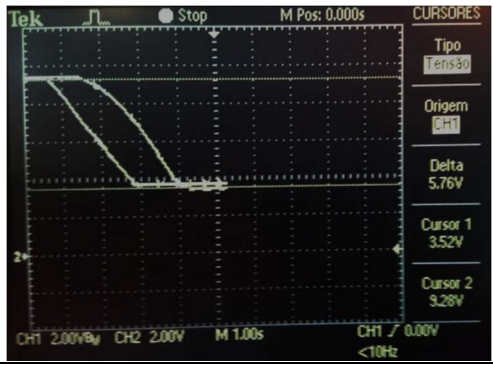
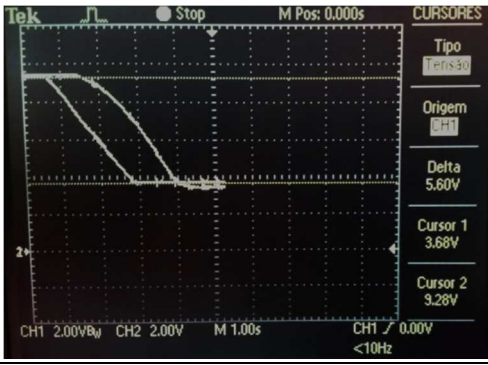
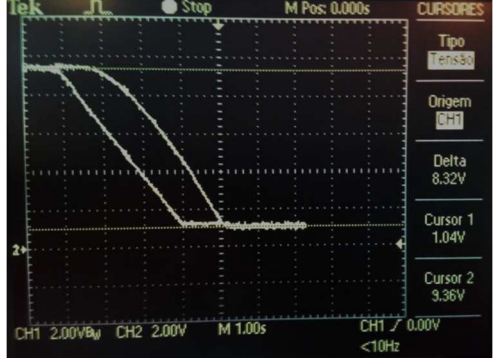

**Tabela 4.1 – Comportamento dos atuadores para o avanço.**

AVANÇO		
Curso	EIXOS XX e YY	Erros
2,5V		9,2 mm
5V		10,4 mm
7,5V		8,4 mm

Após a recolha dos dados dos comportamentos para o avanço dos dois atuadores pneumáticos verifica-se que:

- Os movimentos do dois atuadores iniciam-se e terminam em posições muito semelhantes;
- Os movimentos de avanço apresentam um sobrecurso, que é igual para ambos os atuadores.
- O erro obtido é razoavelmente constante para diferentes posições de paragem ao longo do curso, com uma média de 9,3 mm e um desvio de  $\pm 1$  mm;
- É observado que o eixo XX apresenta um atraso significativo no início da sua movimentação, relativamente ao eixo YY, embora a sua velocidade máxima seja maior e, portanto, asseguro o valor médio ao longo de todo o curso que tinha sido ajustado;
- O atraso inicial verificado é na ordem de 500 ms.

Tabela 4.2 – Comportamento dos atuadores para o recuo.

RECUIO			
Curso	EIXO XX	EIXO YY	Erros
2,5V			<p><b>Eixo XX:</b> 14 mm</p> <p><b>Eixo YY:</b> 10,8 mm</p>
5V			<p><b>Eixo XX:</b> 15,2 mm</p> <p><b>Eixo YY:</b> 12 mm</p>
7,5V			<p><b>Eixo XX:</b> 16,4 mm</p> <p><b>Eixo YY:</b> 11,6 mm</p>

Por sua vez, após a recolha dos dados relativos aos movimentos de recuo dos eixos dos XX e dos YY, verifica-se que:

- No movimento de recuo é verificada uma diferença significativa e consistente de erros de posicionamento entre ambos os atuadores;
- Para o eixo YY o erro para diferentes posições de paragem ao longo do curso permanece constante, com uma média de 11,5 mm e um desvio de  $\pm 0,7$  mm;
- O recuo do eixo XX revela-se relativamente inconstante. Para a movimentação de curso mais reduzido o atuador apresenta um erro de 14 mm. Para cursos maiores apresenta um erro inconstante de média 15,8 mm com um desvio de  $\pm 0,6$  mm.

Os valores obtidos certamente representam uma qualidade de posicionamento inferior ao que era inicialmente previsto pelo que merece uma análise cuidada. Deste modo, de seguida é feita uma análise da natureza dos erros obtidos nos ensaios experimentais.

#### 4.1.1.2 Análise dos erros obtidos

Para melhor compreensão dos erros obtidos experimentalmente foi necessário efetuar um estudo teórico dos fatores intervenientes no sistema que permitem justificar o aparecimento de erros de posicionamento.

Após uma análise do comportamento dos atuadores e conhecendo as características dos órgãos intervenientes em todo o processo de posicionamento, é possível efetuar uma discretização relativamente detalhada do erro total obtido experimentalmente, ilustração 4.1.

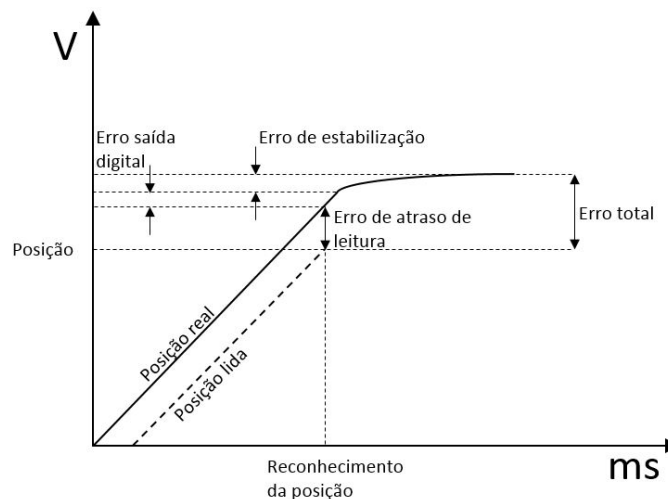


Ilustração 4.1 – Caracterização da natureza dos erros de posição.

Deste modo, essencialmente, o erro presente advém de dois fatores diferentes:

- **Fatores de controlo**, constantes e repetitivos, relativos a todo o equipamento de controlo e atuação eletropneumática;

- **Dinâmica do atuador**, inconstantes, relativos à compressibilidade do ar no interior do atuador, a atritos internos no atuador e a possíveis fugas.

De seguida é feita uma abordagem detalhada e quantitativa da influência dos dois fatores acima referenciados.

O fator relativo à influência do sistema de controlo e atuação eletropneumática representa uma série de atrasos temporais que, conjugados, apresentam um valor bastante constante. Os fatores responsáveis por estes atrasos são enumerados de seguida na tabela 4.3.

**Tabela 4.3 – Atrasos temporais relativos ao sistema de controlo.**

<i>Fatores</i>	<i>Tempo (ms)</i>
Ciclo de autómato	10 ms
Aquisição de sinal (módulo de entradas analógicas)	60 ms
Alteração do estado 1 para 0 (saída digital)	5 ms
Desatuação da válvula pneumática 3/2	20 ms

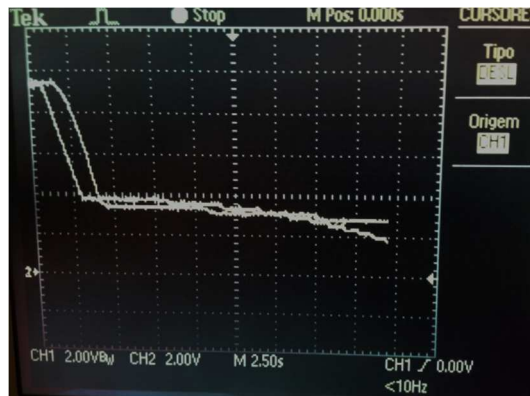
Os atrasos temporais apresentados acima totalizam um valor de 95 ms, constante, que à velocidade dos atuadores (50 mm/s) representam um erro de cerca de 5 mm.

Ainda respeitante aos fatores de controlo, pertence o atraso temporal de fecho da válvula bloqueadora pilotada. Contudo, este erro está incluído no fator seguinte devido a ocorrer após o fecho da válvula pneumática, responsável pela sua pilotagem, e não ser suficientemente conhecido.

O fator relativo à dinâmica do atuador pode incluir os seguintes fenómenos:

1. **Compressibilidade do ar comprimido:** A compressibilidade do ar é um fator a ter em conta neste sistema. Quando existe queda de pressão elevada entre as câmaras, há uma tendência de deslocamento para o equilíbrio das forças, o que contribui para o erro de posicionamento. Este fator pode assumir maior importância e impacto quando a velocidade de movimentação é maior ou quando aliada ao atrito, indesejável, o que se verifica no início da movimentação do eixo dos XX. No entanto, como o atuador tem o seu movimento efetuado sem qualquer carga externa, e a velocidade constante é relativamente baixa, a diferença de pressões mencionada deverá ter um valor reduzido e, portanto, a compressibilidade pode ter um significado diminuto;
2. **Fugas internas ou externas:** As fugas são um fator que também necessita ser tido em conta. Quando os atuadores pneumáticos horizontais se encontram numa posição

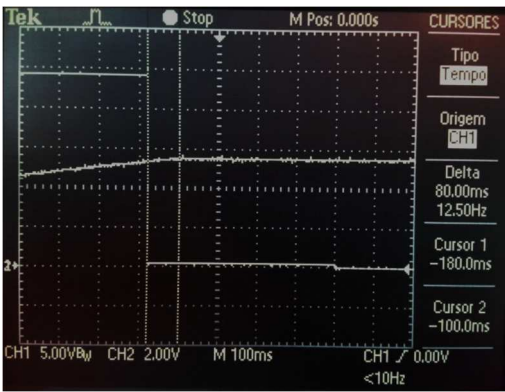
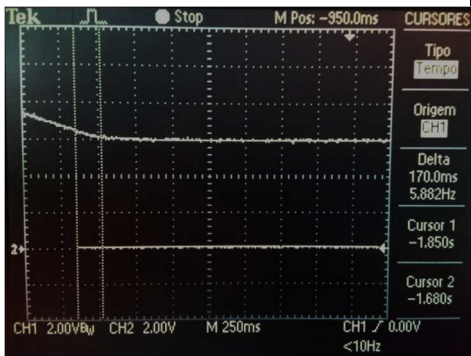
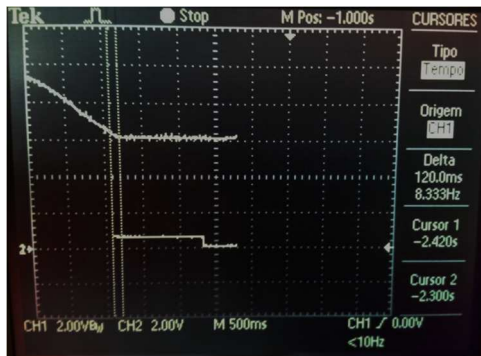
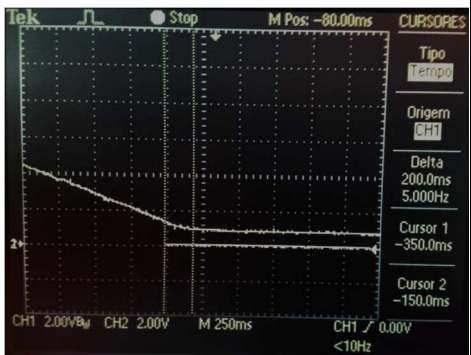
relativamente avançada ou recuada, ou seja, situações em que o volume das duas câmaras de cada atuador é relativamente diferente, o atuador tende a avançar ou recuar no sentido da câmara de menor volume até ao fim do curso do atuador. Esta situação revela claramente a existência de eventuais fugas nos atuadores e consequentemente contribuição para os erros de posicionamento, principalmente para posições extremas dos mesmos. Na ilustração 4.2, está presente um movimento de recuo em que é visível a presença dessa deriva nos dois atuadores.



**Ilustração 4.2 – Presença de deriva nos dois atuadores.**

Foram efetuadas análises do comportamento de cada atuador e para cada sentido de movimentação do momento após o fecho da eletroválvula 3/2, para que seja possível ter uma percepção, mais aproximada, dos atrasos temporais praticados para este tipo de fatores, tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Tempos de paragem do sistema de movimentação relativos à estabilização.

RECUO			
	EIXO XX	EIXO YY	Erros
AVANÇO			Eixo XX e YY: 4 mm
RECUO			Eixo XX: 8,5 mm e 10 mm
			Eixo YY: 6 mm

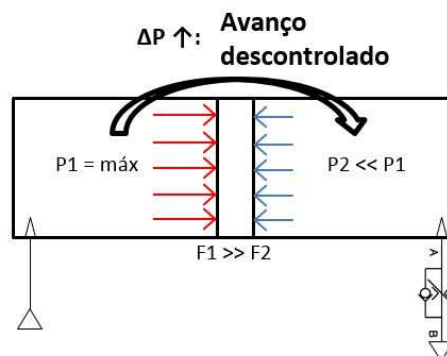
Após a análise dos resultados de estabilização obtidos para ambos os atuadores verifica-se que:

- Para o avanço de ambos os atuadores é praticado um tempo de estabilização uniforme de 80 ms, que se traduz num atraso de 4 mm;
- Para o recuo do atuador Y verifica-se um tempo de estabilização constante de 120 ms que corresponde a 6 mm;
- Os resultados para o recuo do eixo dos XX vão ao encontro dos resultados obtidos, na tabela 4.2, dos diferentes comportamentos para diferentes posições ao longo do seu curso. Para cursos reduzidos apresenta um tempo de estabilização de 170 ms e

para cursos maiores um tempo de 200 ms aproximadamente, que correspondem, a 8,5 mm e 10 mm, respetivamente.

Finda a análise dos erros de posicionamento obtidos, é importante salientar que no início de cada movimentação é necessária uma etapa inicial de preparação das câmaras. Esta etapa consiste no enchimento sincronizado das câmaras dos atuadores pneumáticos dos eixos XX e YY. Só assim, é possível garantir a equalização da pressão no valor máximo nas câmaras dos atuadores, garantindo-se, portanto, um início de movimento controlado, como é desejado e verificado nos ensaios acima apresentados.

Esta etapa inicial permite obter uma queda de pressão entre as duas câmaras reduzida e, conseqüentemente, uma velocidade igualmente controlada pelo restritor unidirecional à saída da câmara do atuador. Se este processo inicial não se verificasse, poderia existir uma queda de pressão entre as câmaras elevada e o cilindro pneumático teria uma reação menos controlada quando as válvulas bloqueadoras permitissem o seu movimento, tornando-se impossível o controlo e a paragem do atuador nas coordenadas pretendidas.



**Ilustração 4.3 – Comportamento do atuador para diferenças de pressão consideráveis entre as câmaras.**

#### 4.1.1.3 Discussão de resultados

Em conclusão verifica-se que os erros discretizados vão ao encontro dos erros totais obtidos experimentalmente, tendo  $\pm 1$  mm de desvio para erros tolerados, segundo os requisitos iniciais para este sistema, tabela 4.5.

O recuo do eixo XX apresenta erros de posicionamento consideravelmente maiores que os restantes movimentos. Como dito anteriormente, o eixo XX apresenta um atraso no início da movimentação, este atraso deve-se à presença de um elevado atrito.



Tabela 4.5 – Comparação entre erros experimentais e os erros calculados.

	<i>Erros totais experimentais</i>	<i>Erros calculados</i>
<b>Eixo XX e YY- Avanço</b>	9,3 mm	9 mm
<b>Eixo YY - Recuo</b>	11,5 mm	11 mm
<b>Eixo XX – Recuo</b>	14 mm	13,5 mm
<b>Eixo XX – Recuo</b>	15,8 mm	15 mm

No estudo da solução no capítulo anterior considerou-se que o autómato TWIDO seria indicado para este sistema pelas reduzidas exigências mas verifica-se que, com a utilização do módulo de entradas e saídas analógicas mais o atraso devido à válvula pneumática, representa uma percentagem relativamente elevada dos erros anteriormente obtidos.

Apesar dos erros consideráveis obtidos, a sua repetibilidade é elevada pelo que é possível proceder à sua compensação com eficiência.

As compensações efetuadas são inseridas na HMI. Esta possui na área de “Definições” uma interface para efetuar modificações dos parâmetros discretizados acima referidos.

De seguida é feita uma descrição da programação efetuada no autómato para o controlo do sistema eletropneumático.

#### 4.1.2 Programação do autómato

Nesta seção é feita, inicialmente, uma breve apresentação do *software* utilizado para a programação do controlador TWIDO. De seguida, é apresentada a estrutura da programação desenvolvida no autómato para o controlo do sistema pneumático e uns detalhes da programação desenvolvida.

##### 4.1.2.1 Software de programação, *TwidoSuite*®

O autómato da *Schneider Electric*, TWIDO, como todos os equipamentos de controlo, possui um *software* de programação dedicado, *TwidoSuite* V3.2. Este possui uma boa interatividade com o programador e é de fácil programação.

O *software* de programação permite um acesso ao autómato de diferentes formas: sem uma ligação física entre eles, com a ligação de um dispositivo dedicado *Bluetooth* a uma porta série do autómato (ficha mini-DIN) ou através de um *switch* com o autómato associado a uma rede (dependente do módulo *Ethernet*), ilustração 4.4.



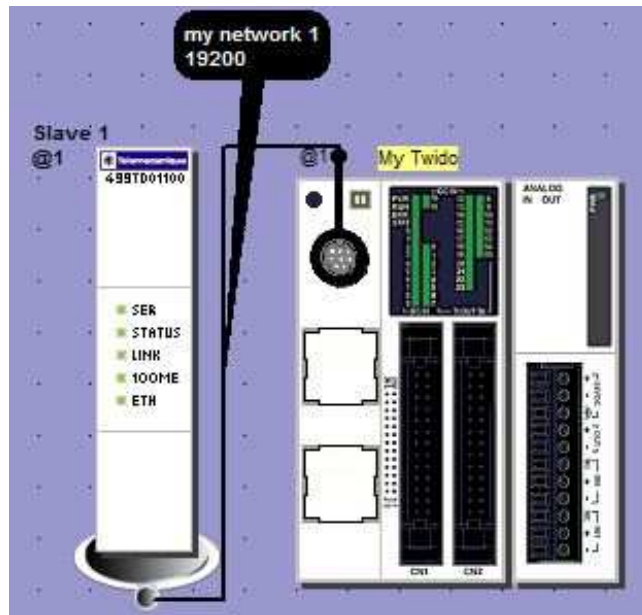


Ilustração 4.4 - Disposição do autômato e respectivos módulos no *software* de programação TwidoSuite®.

As variáveis e funções utilizadas neste projeto foram:

- Variáveis *bit*: %Mi;
- Variáveis *word* (16 bit): %MWi;
- Blocos de temporização: %TMi;
- Contadores: %Ci;
- Blocos de operação e comparação.

Relativamente à programação, permite a programação em *Ladder* ou em “instruções de *grafcet*”.

Por último, este *software* permite fazer a simulação da programação efetuada no equipamento, possibilitando a atuação de variáveis digitais externas e verificar o comportamento da programação efetuada. (18)

#### 4.1.2.2 Estrutura

Estruturalmente, a programação do autômato está dividida em 3 fases diferentes:

- **Pick and Place:** Fases responsáveis pela movimentação de todos os atuadores no sistema;
- **Fim de jogo:** quando o fim do jogo é atingido, o sistema inicia autonomamente a reposição das bolas utilizadas na jogada nas suas posições iniciais;
- **Estado de emergência:** Fase/estado essencial e necessária para qualquer programa desenvolvido para uma máquina. Este deve bloquear qualquer atividade que esteja

a decorrer. De seguida, o programa deve ser inicializado e, assim, recomeçar a sua atividade na etapa inicial.



**Ilustração 4.5 - Estrutura de programação do autômato.**

A programação do autômato, realizada através de “instruções de *Grafcet*”, contém três *grafcet*'s, como apresentado no anexo C. Um *grafcet* principal e dois *grafcet*'s secundários. O *grafcet* principal permite gerir duas movimentações por cada jogo: posicionamento das bolas durante o jogo e posicionamento das bolas no fim do jogo nas suas posições iniciais. Este posicionamento é sempre assegurado pela utilização de dois *grafcet*'s secundários designados de "*PICK*" e "*PLACE*".

Os dois *grafcet*'s secundários possuem as instruções de como o sistema se deve comportar sempre que se movimenta. Um *grafcet* secundário permite o posicionamento dos eixos cartesianos desde a sua posição de repouso até à bola que se pretende movimentar "*PICK*". O segundo permite movimentar a bola da sua posição inicial até à sua posição final "*PLACE*". Estes dois *grafcet*'s secundários permitem uma maior eficiência do processo de posicionamento, uma vez que podem ser utilizados várias vezes no *grafcet* principal do autômato.

#### Estado de emergência

O estado de emergência de qualquer sistema é de elevada importância. Este tem de ser analisado com particular cuidado relativamente aos elementos móveis e/ou aos que poderão acarretar perigo quando alguma anomalia ocorre. Neste projeto apenas é necessário imobilizar o sistema de atuação, que corresponde ao comando dos atuadores pneumáticos, terminal de válvulas. Deste modo, existem dois meios para ativar o estado de emergência, que devem ocorrer simultaneamente:

- **Estado de emergência por ação física:** É efetuado por uma botoneira de emergência com um contacto normalmente fechado. Esta está associada a um relé que, quando atuado, abre o circuito de alimentação do terminal de válvulas, induzindo assim, a imobilização do sistema cartesiano através do fecho das válvulas bloqueadoras;
- **Estado de emergência por ação de *software*:** É assegurado por uma variável interna disponibilizada pelo autómato *TWIDO*, (%S21). Esta, quando atuada por ação da botoneira física, reencaminha todos os *grafcet's* presentes no autómato para as suas etapas iniciais e apenas permite a inicialização dos *grafcet's* quando é desatuada. Durante o estado em que esta variável está atuada, é possível efetuar as ações de emergência necessárias.

#### 4.1.2.3 Detalhes de interesse da programação efetuada

##### Memorização das posições

As coordenadas de cada posição de jogo estão memorizadas na HMI. Como será possível ver no subcapítulo seguinte, este mecanismo permitiu a criação de uma área de “Definições” que permite a modificação dessas coordenadas quando necessário. Quando o sistema é ligado, todas as coordenadas das posições são atualizadas no autómato.

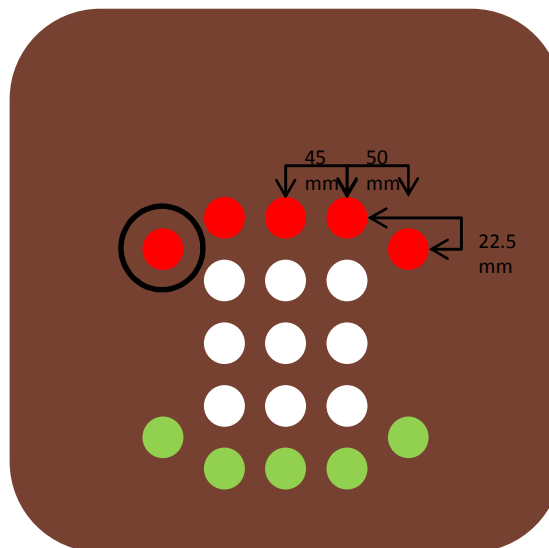


Ilustração 4.6 - Tabuleiro de jogo.

##### Atualização das coordenadas nos *grafcet's* secundários

Em cada um dos *grafcet's* secundários, "*PICK*" e "*PLACE*" estão associadas memórias internas, %MW15, %MW16 e %MW17, %MW18, respetivamente. Estas permitem atualizar as coordenadas x e y de cada posição selecionada nos *grafcet's* secundários, para que estes ordenem o deslocamento correto para o sistema de eixos cartesianos.

### Contadores

Para que o autómato pudesse efetuar a reposição das bolas utilizadas nas suas posições iniciais foi necessário criar três contadores:

1. O primeiro contador, que está localizado no *grafcet* principal, na rotina de jogo, permite armazenar as coordenadas de cada jogada efetuada durante o jogo em memórias separadas para que, posteriormente, possam ser utilizadas por um segundo contador.
2. Um segundo contador, presente no início da rotina de fim de jogo, permite associar às memórias dos *grafcet's* secundários as coordenadas armazenadas do jogo efetuado anteriormente, pelo contador 0.
3. O terceiro contador, também presente na fase final do jogo vem, quando necessário, permitir de modo idêntico ao descrito anteriormente, efetuar o posicionamento das bolas que foram jogadas manualmente. O processo de reposicionamento inicial destas bolas envolve inicialmente a HMI, que será descrito mais à frente, em que esta efetua a gestão das bolas utilizadas manualmente atribuindo a cada uma delas uma posição de repouso inicial, enviando as respetivas coordenadas para o autómato. (18)

De seguida é feita uma discussão da implementação do protocolo de comunicação *CANopen* entre os dois elementos acima discutidos: o sistema eletropneumático e o autómato.

#### **4.1.2.4 Protocolo de comunicação *CANopen***

No decorrer da instalação e programação do sistema electropneumático deste sistema, verificou-se que a comunicação entre o autómato e o terminal de válvulas através do protocolo de comunicação *CANopen* não era suportada.

A comunicação através do protocolo de comunicação *CANopen* pode ser efetuada através de dois modos de funcionamento:

- Modo síncrono;
- Modo assíncrono.

Em tempos passados, e nomeadamente para dispositivos de funcionamento mais lentos, o modo assíncrono era o mais utilizado. Atualmente, com a maior eficácia da comunicação e da capacidade de resposta dos elementos periféricos, o funcionamento síncrono é necessário.

Deste modo, acabou por se verificar que neste sistema está presente um elemento mais antigo, que apenas possui o modo de funcionamento assíncrono (autómato) e um mais recente

que requer um funcionamento síncrono (terminal de válvulas). Visto isto, concluiu-se que não era possível conciliar ambos os equipamentos. (11) (18) (19)

Uma vez detetada a incompatibilidade na instalação foi necessário fazer um estudo de uma nova solução de recurso que tornasse possível utilizar o restante equipamento.

A ideia de tentar implementar a rede *CANopen* neste projeto foi assim posta de parte, uma vez que para que tal fosse possível era necessário proceder à substituição do autómato por um mais recente, o que acarretaria custos e um tempo de implementação elevados.

Deste modo, decidiu-se que a melhor solução para um custo reduzido era utilizar as 16 saídas digitais disponíveis pelos dois canais do autómato, 8 saídas digitais por canal. Como a potência elétrica de cada solenoide está compreendida entre 0,4W e 1W e a corrente que cada saída digital disponibiliza é no máximo de 400mA, verificou-se que era possível efetuar o comando dos solenoides diretamente da saída digital. (10) (20)

$$P = V * I \leftrightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{1}{24} = 0,042 A = 42 mA$$

Visto isto, foi adquirido um novo módulo com conexão multipino D25 para o terminal de válvulas, ref: VAEM-L1-S-M1-25, que substituiu o módulo CTEU-CO para a comunicação *CANopen*. Assim, é possível acionar cada solenoide correspondente a uma determinada válvula através de um pino específico da ficha sub-D 25, ver anexo D. (10)

Como o canal 1 já se encontrava a ser utilizado devido à presença de entradas digitais no sistema, foi utilizada uma base de relés com 8 saídas digitais ref: ABE7 R08S111 que contém a conexão específica para o cabo que já estava implementado no canal. As restantes 8 saídas digitais foram ligadas diretamente a uma base que permite a ligação adequada entre a saída da ficha do *flat cable* e a ficha sub-D 25, ilustração 4.7.

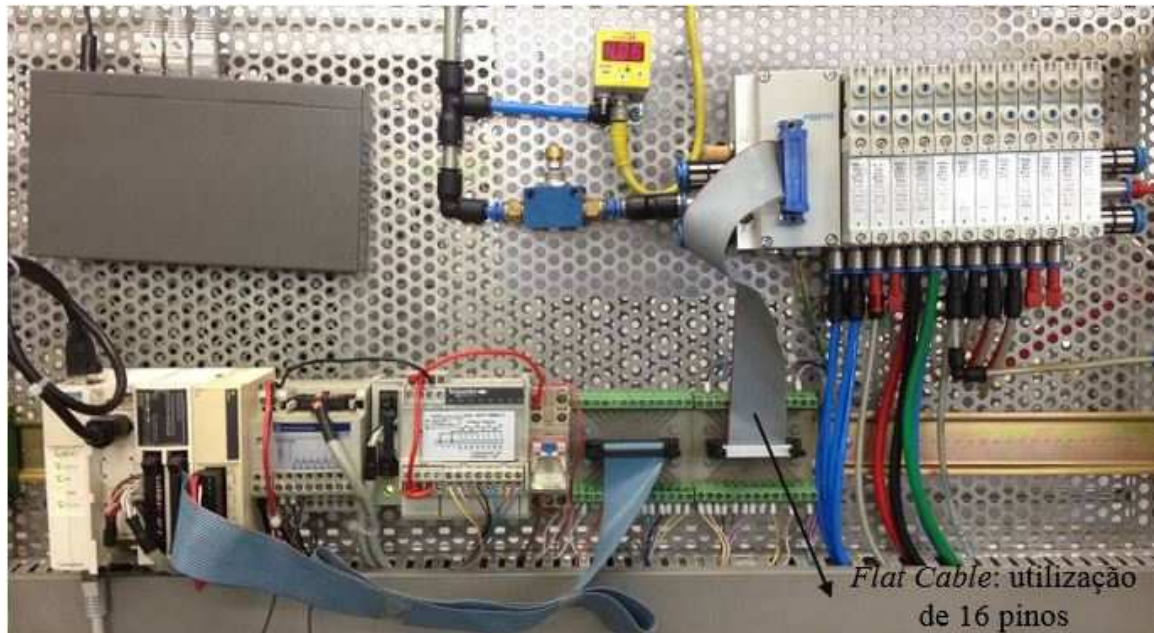


Ilustração 4.7 - Solução implementada.

## 4.2 Sistema de monitorização e comando - HMI

A HMI é um elemento fundamental no sistema deste projeto, uma vez que é o elemento central de todo o jogo automatizado. Por um lado, esta permite ao utilizador interagir com o sistema ao realizar a sua jogada e ordena ao autómato para que a jogada seja feita corretamente. Por outro lado, permite receber informações provenientes dos elementos a si associados de variáveis que seja necessário monitorizar.

Este subcapítulo aborda os seguintes temas na implementação da HMI:

1. Apresentação sucinta do *software* de programação da interface desenvolvida, *Vijeo Designer*®;
2. Demonstração da interatividade das janelas desenvolvidas;
3. Apresentação da estrutura da interface desenvolvida;
4. Descrição da programação efetuada.

### 4.2.1 Software de programação - *Vijeo Designer* ®

Para a programação de interfaces, o fabricante *Schneider Electric* disponibiliza um *software* dedicado, *Vijeo Designer* ® para as várias HMI que disponibiliza.

Para efetuar a programação existem duas possibilidades de conexão entre o computador e a HMI:

- Através de um cabo mini USB, na porta dois da HMI;
- Através da porta *Ethernet*.

Relativamente à programação de interfaces, este *software* possui uma boa interatividade com o programador, possibilitando uma rápida aprendizagem dos principais comandos disponíveis. De modo geral, é possibilitada a criação de dois tipos de painéis:

- **Painéis base**, em que se baseia a maioria da interface programada;
- **Painéis *popup***, que principalmente são utilizados para alertas ou para transmitir informações ao utilizador.

Em cada um dos painéis disponíveis existem uma grande variedade de operações ou funcionalidades disponíveis e utilizadas tais como:

- Botões, que podem ser personalizados e oferecem ao programador uma vasta panóplia de ações/funções disponíveis quando atuados;
- Introdução de texto;
- *Display* para monitorização de variáveis.

As ações, como referidas acima, podem estar inseridas em botões, relacionadas com uma janela ou estar presentes durante toda a interface, sempre associadas a uma determinada condição ou evento. Estas ações permitem efetuar ações e/ou decisões simples e funções menos vulgares ou mais complexas através da função *script*, amplamente utilizada neste trabalho, na qual se utiliza a linguagem *Java*® para efetuar a função que se deseja.

Por último, o *software* permite efetuar simulações rápidas da interface desenvolvida sempre que for necessário, indicando os erros e avisos sobre a programação efetuada. (21)

#### **4.2.2 Interatividade das janelas**

A interface desenvolvida para este projeto possui uma apresentação base fixa ao longo de toda a sua extensão, contendo botões de fácil visualização e compreensão e indicação do estado atual em que se encontra na estrutura da interface, através de um cabeçalho. Assim, a interface desenvolvida oferece uma boa interatividade para os seus utilizadores.

A maioria das janelas desenvolvidas fazem-se acompanhar de três botões: “recuar”, “avancar” e “*home*” (voltar ao menu inicial).

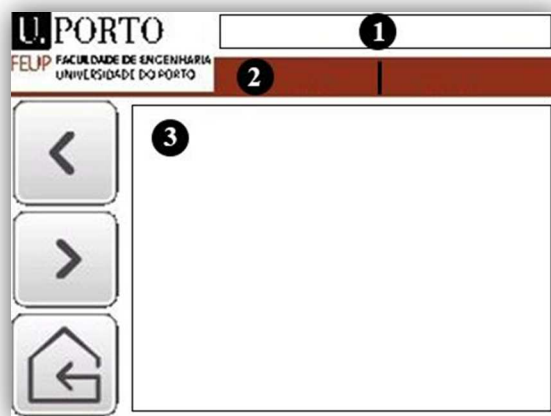


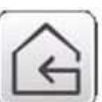


Ilustração 4.8 - *Template* base das janelas. 1. Nome da página atual; 2. Sequência efetuada na interface; 3. Zona de jogo e/ou navegação.

De seguida é apresentada uma descrição dos botões presentes na ilustração 4.8.

Tabela 4.6 - Apresentação das funcionalidades dos botões de navegação.

Botão	Nome	Função
	Recuar	Permite voltar à página anterior. Quando dentro de determinado grupo, efetua <i>reset</i> a certas variáveis dedicadas que foram anteriormente ativadas.
	Avançar	Permite efetuar a movimentação para a página seguinte.
	<i>Home</i>	Botão que, em qualquer posição na estrutura da interface, seja possível voltar ao menu inicial. Nas páginas de jogo, ou quando alguma variável dedicada é está ativa, quando premido, efetua o <i>reset</i> e/ou põem a "0" todas as variáveis existentes.

#### 4.2.3 Estrutura de programação

Inicialmente, é apresentada uma capa introdutória do tema de dissertação. Para iniciar a continuidade da interface apenas é necessário tocar na janela da ilustração 4.9.





Ilustração 4.9 - Capa introdutória.

De seguida, é apresentado o menu de jogo, onde é possível verificar as informações principais do projeto em "sobre", consultar as regras de jogo e instruções de jogo em "ajuda", aceder a uma área restrita para definições do jogo e, por último iniciar um jogo.



Ilustração 4.10 - Menu.

Na ilustração 4.11, é apresentada estrutura da interface desenvolvida. Para o começo de um jogo tem de haver uma seleção do modo de jogo desejado e, posteriormente, o tipo de manipulação pretendida.

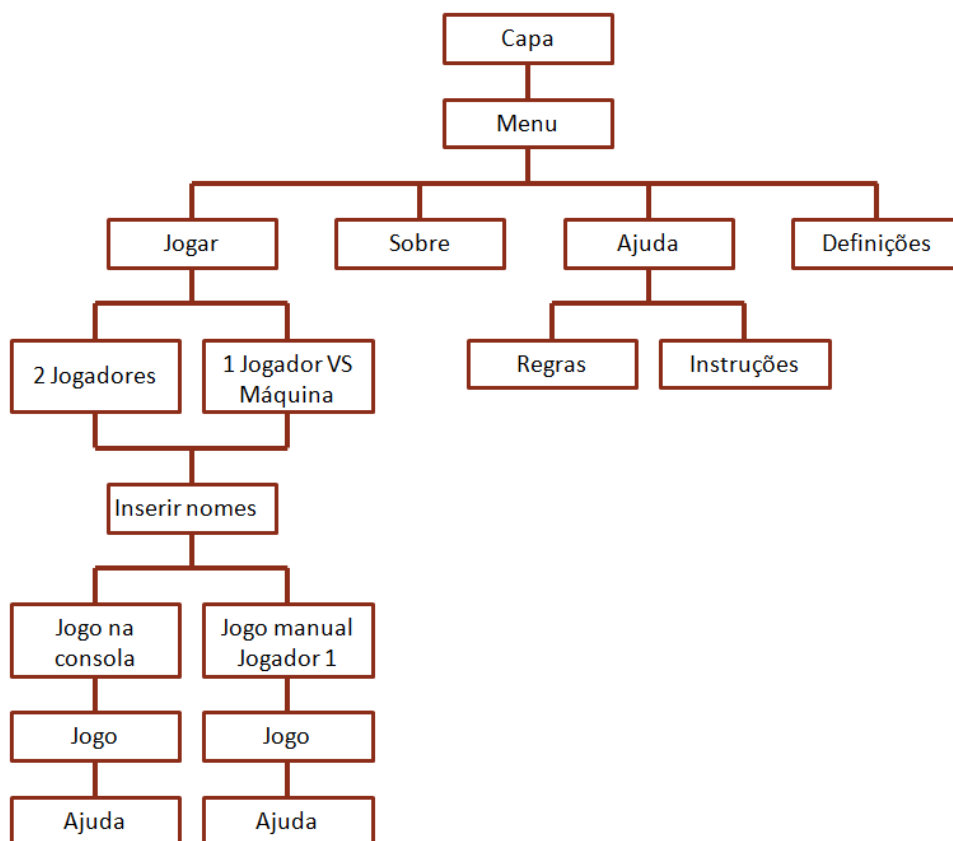


Ilustração 4.11 - Estrutura de programação da interface.

#### 4.2.4 Programação da interface da HMI

A programação da interface da HMI está, essencialmente, dividida em duas partes:

- **Desenvolvimento de uma área de manutenção/Definições:** Nesta área, reservada, estão disponibilizados mecanismos para alteração dos parâmetros de sistema;
- **Programação dos modos de jogo requeridos.**

No desenvolvimento da interface esteve sempre presente preocupação em tornar a interface interativa com os utilizadores.

##### 4.2.4.1 Definições do sistema

Na interface apresentada neste projeto, está presente uma área de definições para que seja possível alterar, quando necessário, os valores que estão associados a cada posição do tabuleiro ou das compensações dos erros de posicionamento praticados. A alteração das coordenadas das posições é necessária quando a resolução do módulo que está associado aos transdutores de posição analógicos for diferente da atual. A alteração das compensações pode dever-se a alterações dos atrasos temporais no sistema.

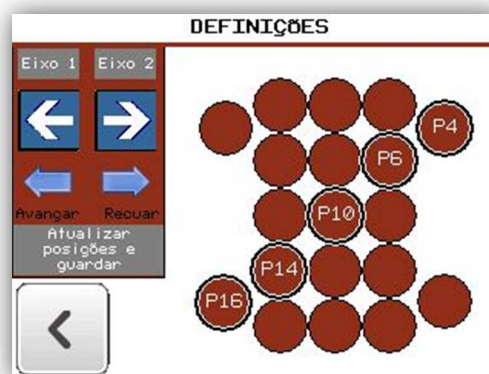
A área de definições, devido à sua importância no sistema, apenas é acessível quando é realizada uma autenticação por parte de um utilizador/administrador.

Para que o propósito desta área de definições seja alcançado, são usadas as "receitas" disponibilizadas pelo *software Vijeo Designer®*. As receitas são grupos que contêm parâmetros pertencentes a outros dispositivos podendo ser criada uma pequena interface em que o utilizador pode efetuar a sua modificação, ilustração 4.12. Através destas “receitas” pode-se ler os seus valores num outro dispositivo usando o comando "*snapshot*" e/ou efetuar o seu envio através do comando "*send*", entre outras funções. (21)

	Ingredient Va...	Label	Edita...	Min	Max	Posição
1	x1	x1	<input checked="" type="checkbox"/>			0
2	x2	x2	<input checked="" type="checkbox"/>			1024
3	x3	x3	<input checked="" type="checkbox"/>			1945
4	x4	x4	<input checked="" type="checkbox"/>			2867
5	x5	x5	<input checked="" type="checkbox"/>			3810
6	y1	y1	<input checked="" type="checkbox"/>			0
7	y2	y2	<input checked="" type="checkbox"/>			409
8	y3	y3	<input checked="" type="checkbox"/>			880
9	y4	y4	<input checked="" type="checkbox"/>			1802
10	y5	y5	<input checked="" type="checkbox"/>			2723
11	y6	y6	<input checked="" type="checkbox"/>			3194
12	xavanço_esta...	xavanço	<input checked="" type="checkbox"/>			80
13	xrecuo_estabil...	xrecuoA	<input checked="" type="checkbox"/>			170
14	xrecuo_estabil...	xrecuoB	<input checked="" type="checkbox"/>			250
15	yrecuo_estabi...	yrecuo	<input checked="" type="checkbox"/>			120
16	tempo_fecho...	tempo_fecho...	<input checked="" type="checkbox"/>			20
17	tempo_aquisi...	tempo_aquisi...	<input checked="" type="checkbox"/>			60
18	tempo_ciclo	tempo_ciclo	<input checked="" type="checkbox"/>			10
19	tempo_saída_...	tempo_saída_...	<input checked="" type="checkbox"/>			5
20	ERRO_AVANCO	ERRO_AVANCO	<input checked="" type="checkbox"/>			191
21	ERRO_X_REC...	ERRO_X_REC...	<input checked="" type="checkbox"/>			287
22	ERRO_X_REC...	ERRO_X_REC...	<input checked="" type="checkbox"/>			381
23	ERRO_Y_REC...	ERRO_Y_REC...	<input checked="" type="checkbox"/>			210

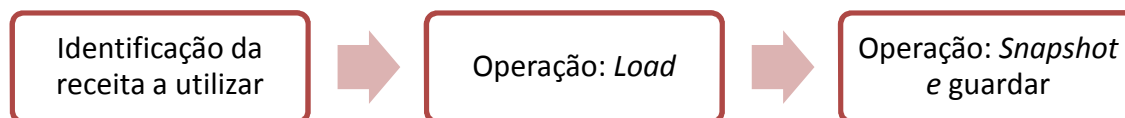
**Ilustração 4.12 - Variáveis parametrizáveis de uma receita.**

Uma das interfaces de “Definições” criada foi uma interface para que o administrador possa posicionar o sistema de eixos nas posições indicadas na ilustração seguinte para efetuar a alteração das coordenadas anteriores. Os comandos de posicionamento permitem ao utilizador posicionar com ajuste fino através de um avanço por impulsos, ilustração 4.13.



**Ilustração 4.13 - Definição das coordenadas das posições no tabuleiro de jogo.**

No fim de todas as posições estarem memorizadas nas respetivas memórias, e ser ativado o botão de atualizar a receita é realizada uma sequência de comandos que permite a atualização da mesma através do comando "*snapshot*". A sequência de operações é: (21)



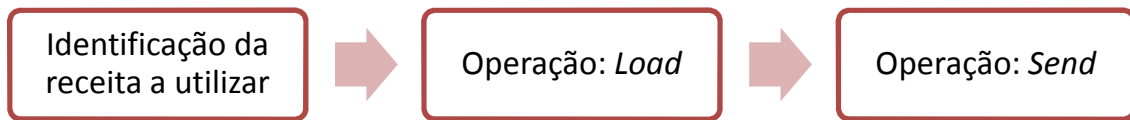
**Ilustração 4.14 - Sequência de operações para efetuar a memorização de novas coordenadas. (21)**

Foi, também, criada uma interface para que os erros de posicionamento possam ser alterados para uma melhor correção do sistema de posicionamento seguindo, naturalmente, a mesma sequência de apresentada anteriormente, uma vez que os erros de posicionamento pertencem à mesma receita das coordenadas das posições. Os erros de posicionamento estão divididos/discretizados para que a alteração possa ser mais facilitada, ilustração 4.15 e 4.16.

**Ilustração 4.15 - Definição dos erros de controlo.**

**Ilustração 4.16 - Definição dos erros de estabilização para cada eixo.**

Por último, as coordenadas das posições do tabuleiro e os erros de posicionamento são sempre atualizadas no autómato através do envio da receita sempre que o sistema é inicializado. Seguindo uma ordem idêntica à referida na ilustração 4.17. (21)

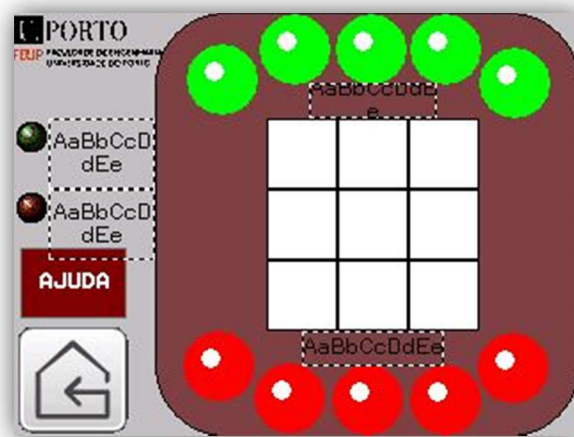


**Ilustração 4.17** - Sequência de operações para efetuar o envio das coordenadas para o autômato.

No menu de “Definições” de sistema existe, também, a possibilidade de atualizar todas as variáveis relacionadas com as posições de jogo para os valores de origem ou *default*.

#### 4.2.4.2 Jogo entre dois jogadores

A interface criada para o modo de jogo entre dois jogadores é constituída pelas dez bolas disponíveis nas posições iniciais, das quais 5 vermelhas e 5 verdes. Na posição central está localizada a tradicional matriz 3\*3 para efetuar as jogadas pretendidas. Na parte lateral da interface estão disponíveis dois sinalizadores luminosos, associados ao nome de cada jogador, indicando o jogador que pode efetuar a jogada. Estão, também, presentes dois botões: ajuda e *home*. O botão ajuda permite aos jogadores ter acesso às regras e instruções de jogo, em caso de necessidade. O botão *home* permite aos utilizadores o regresso ao menu inicial e, assim, cancelar o jogo, ilustração 4.18.



**Ilustração 4.18** - Interface de jogo entre dois jogadores.

As nove posições da matriz de jogo estão associadas a variáveis inteiras. Estas variáveis internas associadas a cada uma das nove posições de jogo, permitem disponibilizar três estados que são essenciais para representar os estados possíveis para cada posição durante o jogo, tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Cor dos três estados possíveis de jogo.

<i>Estados das posições de jogo</i>	<i>Cor</i>
<b>INT<sub>x</sub>=0</b>	Branco
<b>INT<sub>x</sub>=1</b>	Verde
<b>INT<sub>x</sub>=2</b>	Vermelho

Quando um dos jogadores inicia a jogada, carregando numa das bolas na sua posição inicial, o sistema dá início a um conjunto de ordens ao PLC para que este efetue o posicionamento adequado da bola selecionada e a interface apenas permite que o jogador efetue o seu posicionamento numa posição disponível na matriz de jogo quando o sistema de posicionamento pneumático termina a primeira fase de posicionamento "*PICK*". Após o jogador efetuar a jogada, a posição selecionada apresentará a cor que está associada ao jogador, vermelho ou verde.

No fim de cada jogada efetuada por um dos dois jogadores é ativada uma função que vai verificar se a jogada efetuada permite obter uma vitória por um dos jogadores ou um empate. Se não verificar nenhuma das situações anteriores, permite a continuidade do jogo até que uma das possibilidades se verifique.

Para o desenvolvimento da função acima referida foi utilizado o comando *script*. Este comando permite ao programador desenvolver funções que não estão pré-definidas pelo *software* e, assim, oferecer ao programador uma maior flexibilidade na criação de funções mais complexas e dedicadas. A programação efetuada neste comando baseia-se principalmente na linguagem de programação *Java*®. (21)

No fim de cada jogada, se a função que verifica a vitória de um dos jogadores é verificada, dá o jogo por terminado e abre uma janela *popup* que indica quem foi o vencedor e a sequência de jogo que permitiu a vitória, ilustração 4.19.

Ilustração 4.19 – A) *Popup* para vitória do jogador 1; B) *Popup* para vitória do jogador 2.

Quando se verifica um empate, uma *popup* idêntica às acima referidas aparecerá, ilustração 4.20.



Ilustração 4.20 - *Popup* para empate.

Cada uma das janelas *popup* apresentadas possuem um botão que, quando premido, emite uma ordem para o PLC para que este inicie o posicionamento das bolas utilizadas nas suas posições iniciais e abre uma janela *popup* que permite que os jogadores efetuem um novo jogo ou não, voltando para a sua posição inicial de apresentação, ilustração 4.21.

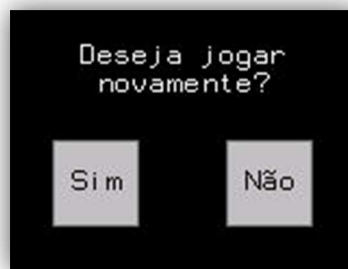


Ilustração 4.21 - *Popup* para iniciar o jogo novamente ou voltar ao início da interface.

#### 4.2.4.3 Jogo entre um jogador e a máquina

A interface desenvolvida para o modo de jogo entre um jogador e a máquina, assim como o método de posicionamento e as variáveis utilizadas é idêntica à interface apresentada no modo de jogo anterior.

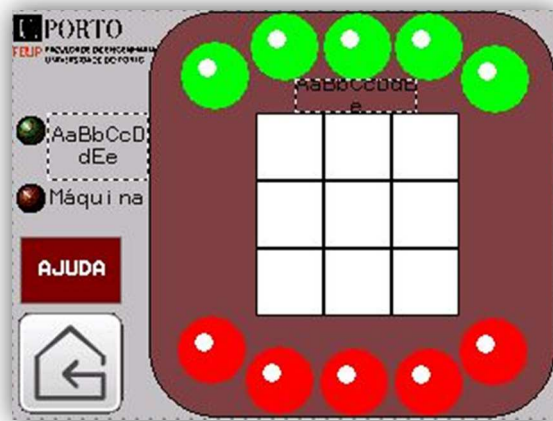


Ilustração 4.22 - Interface de jogo entre um jogador e a máquina.

Quando o jogador efetua o posicionamento da bola numa das posições de jogo, são acionadas 2 funções *script* de verificação. A primeira é idêntica à função descrita anteriormente, que verifica se a jogada efetuada pelo jogador resulta numa vitória ou empate. Uma segunda função verifica se ocorre vitória pela máquina após esta ter efetuado a sua jogada.

A jogada automática da máquina é, também, efetuada por uma função *script*. Nesta função estão presentes 4 níveis de ação:

1. Inicialmente, a função vai verificar se o estado atual de jogo permite à máquina efetuar uma jogada que permite ganhar o jogo;
2. Caso a primeira ação não se verifique, a máquina irá tentar bloquear qualquer jogada que permita ao jogador ganhar na próxima jogada;
3. Caso as duas primeiras ações não se verifiquem, a máquina efetua uma das movimentações memorizadas, caso a jogada do componente seja compatível;
4. Por último, se os pontos anteriores não se verificarem, é utilizada a função *random()* que gera valores aleatórios entre 0 e 1. Deste modo, e com a gama de valores gerados distribuídos pelas nove possibilidades de jogo, é atribuído uma posição para que a máquina possa efetuar a sua jogada. Quando o valor gerado corresponde a uma posição que já se encontra ocupada, a ação é efetuada novamente até se encontrar uma posição disponível.

Quando um estado de fim de jogo é atingido, vitória ou empate, é apresentado, à semelhança do modo de jogo anterior, uma das *popup* apresentadas anteriormente, ilustração 4.19 ou 4.20 e a possibilidade de efetuar novamente o mesmo modo de jogo utilizado ou regressar à posição inicial da estrutura da interface, ilustração 4.21.



#### 4.2.4.4 Modo de jogo com posicionamento manual

Neste projeto de dissertação, como visto anteriormente, um dos requisitos é disponibilizar um modo de jogo em que um dos jogadores ou jogador, no caso de jogo contra a máquina, possa efetuar a sua jogada manualmente no tabuleiro de jogo.

Deste modo, para estas duas novas possibilidades de jogo, foram mantidas as interfaces de jogo apresentadas anteriormente, assim como todas as funções utilizadas. O jogador que irá efetuar a jogada manual deve, após a jogada, apenas indicar que já efetuou a movimentação para que seja dada continuidade ao jogo através de uma janela *popup*, ilustração 4.23.



Ilustração 4.23 - Popup para validar jogada manual.

Quando o jogador valida a jogada que efetuou é acionado uma variável, *trigger*, que vai acionar o sistema de visão, para que este inicie a captação da imagem, efetue o processamento da imagem e retorne uma atualização das novas posições das bolas de jogo para que o jogador/máquina possa efetuar a sua jogada.

A análise das das movimentações manuais, na HMI, possui duas fases sequenciais:

- **Verificação se a jogada é válida:** cada variável associada a cada posição no autômato é comparada com a posição do tabuleiro da jogada anterior na HMI. Caso se verifique uma jogada inválida não ocorre continuidade na função de análise, ou seja, as posições não são atualizadas e é pedido ao jogador que efetue novamente uma jogada.
- **Atualização das posições na HMI:** se verificado que a jogada é válida ocorre a atualização das posições de jogo no ambiente de jogo da HMI.

Terminada a análise das posições atualizadas pelo sistema de imagem e verificada a sua validade, são ativadas as funções de verificação de vitória ou empate, como nos modos de jogo anteriores e, se nenhuma destas funções se verificar, é permitida a jogada ao segundo jogador/máquina.

Quando o fim de jogo é atingido, através de uma vitória ou empate, é, como descrito nos modos de jogo anteriores, dado início ao posicionamento das bolas utilizadas nas suas

posições iniciais. Neste caso específico, as bolas movimentadas manualmente, como não estão relacionadas com o autômato, não são memorizadas automaticamente. Deste modo, foi necessário elaborar uma função adicional. Esta função permite verificar a posição em que cada bola foi jogada e de seguida é atribuída a cada uma bola uma posição na distribuição inicial.

### 4.3 Sistema de aquisição de imagem

Neste subcapítulo é apresentada a implementação do sistema escolhido para efetuar o processamento de imagem. Como enunciado no capítulo anterior, este sistema é constituído por um elemento de processamento, *Raspberry Pi* e a respetiva câmara OV5647. Para tornar este sistema mais robusto foi utilizado um suporte para uma melhor fixação à estrutura do jogo, ilustração 4.24.

O *software* utilizado para efetuar o processamento de imagem em questão foi a biblioteca *Open Source* de visão computacional, *OPENCV*. A comunicação entre o *Raspberry Pi* e os restantes equipamentos foi assegurada pela utilização da biblioteca de comunicação *Pymodbus* para o protocolo de comunicação *Modbus TCP*.



Ilustração 4.24 - Suporte com *Raspberry Pi* e câmara.

A apresentação deste sistema está dividida em duas partes:

- **Instalação e suporte**, em que são apresentados os principais passos tomados na instalação do *software* necessário para tornar o processamento de imagem possível e os diferentes suportes possíveis para efetuar a sua programação.

- **Programação**, na qual são apresentadas, detalhadamente, as várias etapas da mesma e os resultados obtidos.

De seguida, na ilustração 4.25, são enumeradas as etapas principais da programação em que todo o processamento de imagem está assente e que serão discutidas com maior detalhe mais à frente.

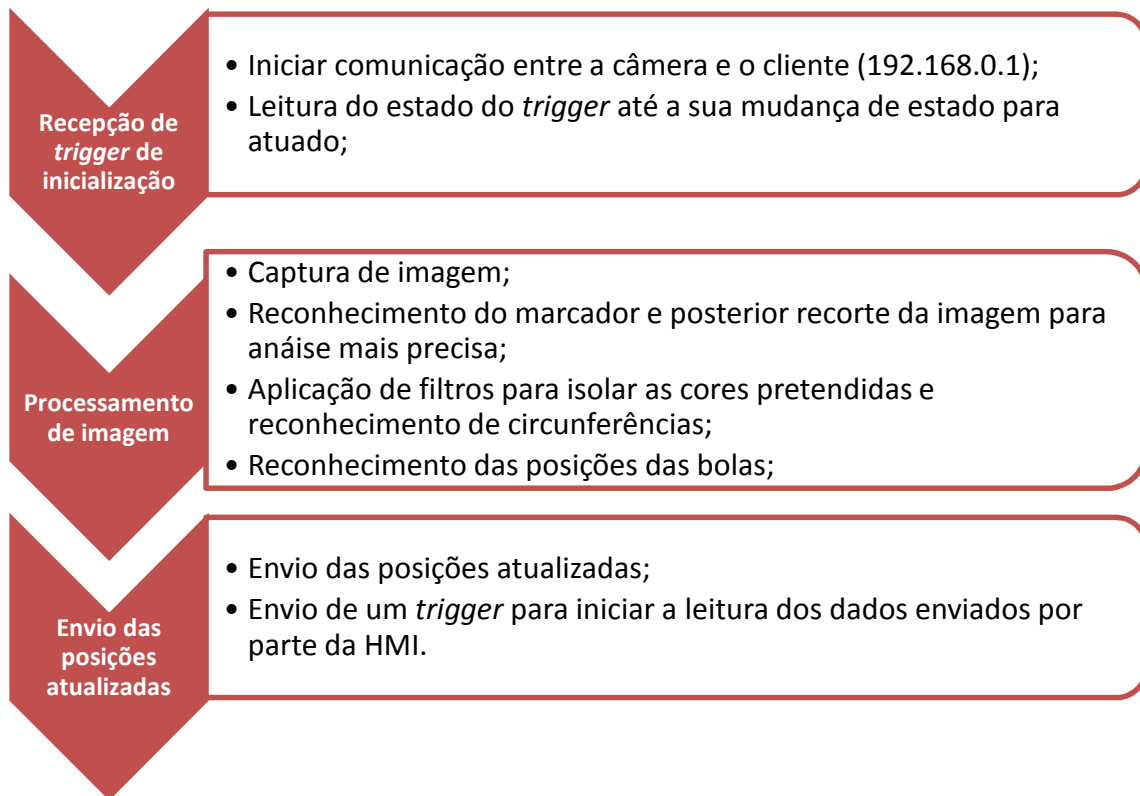


Ilustração 4.25 - Estrutura da programação desenvolvida para o processamento de imagem.

#### 4.3.1 Instalação e suporte

Para que o processamento de imagem fosse alcançado, foi necessário fazer uma pesquisa relativamente às soluções disponíveis e compatíveis com o sistema operativo do *Raspberry Pi*, *Raspbian*, que é baseado no sistema operativo *Linux*. Neste, são permitidas programações em várias linguagens. Contudo, a sua linguagem de referência é a linguagem *Python*, linguagem esta em que o sistema operativo está baseado.

Deste modo, decidiu-se para este projeto, utilizar a biblioteca de processamento de imagem e vídeo *OPENCV* que se apresenta disponível para linguagens de programação C++, *Java*, *Python*.

A linguagem de programação a utilizar é a linguagem *Python*, para que haja uma elevada compatibilidade, uniformidade e simplicidade entre as funções de sistema do *Raspberry Pi*, a utilizar e as bibliotecas de processamento de imagem e de comunicação.

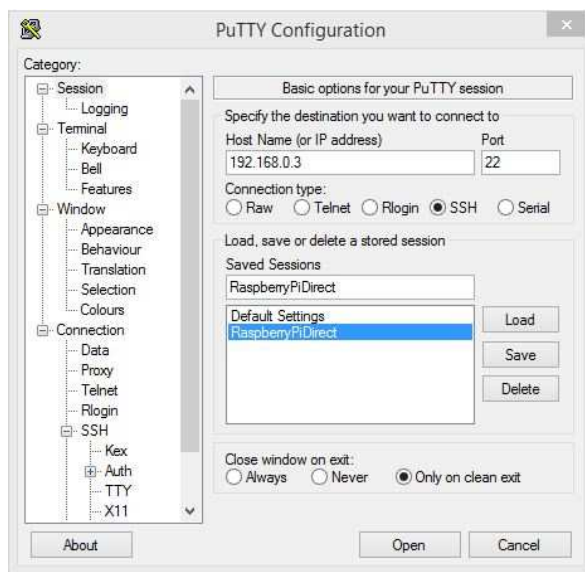
## Suporte

O acesso ao ambiente de trabalho/programação do sistema operativo do *Raspberry Pi* pode ser feito por duas maneiras:

- Acesso direto;
- Acesso remoto.

Para aceder diretamente ao sistema operativo é necessário possuir um teclado e rato com porta USB e um ecrã com uma entrada HDMI ou uma entrada RCA, típica dos ecrãs mais antigos. Os monitores com entrada VGA podem ser utilizados com a utilização de um conversor VGA/HDMI.

Para o acesso remoto, é necessário ambos os dispositivos estarem na mesma rede e proceder à instalação de um *software* que permita o controlo remoto através do protocolo de rede SSH<sup>9</sup>. Neste projeto foi utilizado o *software* PUTTY para efetuar a gestão de elementos da rede, identificados pelo seu endereço de IP e a sua conexão e o *software* *X11* que permite o acesso ao ambiente gráfico do *Raspberry Pi*. (22)



**Ilustração 4.26 - Software PUTTY para controlo remoto com suporte para protocolo SSH.**

## Instalação

Após a escolha do *software* a utilizar, foi necessário proceder à sua instalação no sistema operativo *Raspbian*. Para isso, o sistema operativo disponibiliza um terminal a partir do qual é possível inserir todos os comandos pretendidos.

---

<sup>9</sup> SSH: Protocolo de rede responsável pelo acesso remoto a dispositivos da mesma rede. SSH faz pertence ao grupo de protocolos TCP/IP.

Inicialmente foi necessário proceder à atualização de todo o sistema, para garantir que não ocorram problemas de incompatibilidade entre as bibliotecas a instalar e o sistema operativo. Deste modo, foram inseridos os comandos seguintes em modo “administrador” (sudo):

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade  
sudo rpi-update
```

De seguida, procedeu-se a instalação das duas bibliotecas em questão, *OPENCV* e *Pymodbus*, através dos seguintes comandos, respetivamente:

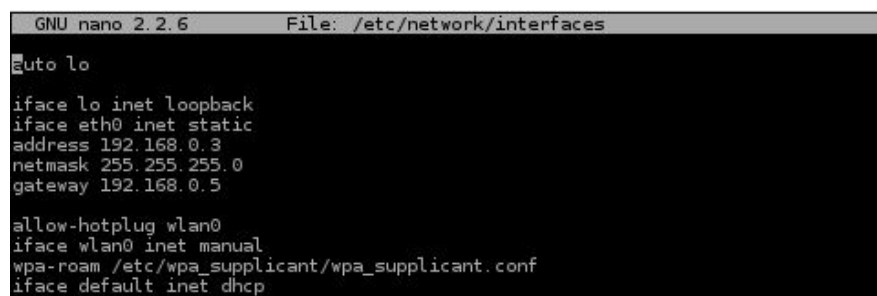
```
sudo apt-get install libopencv-dev python-opencv  
sudo easy install -U pymodbus
```

No fim de todo o processo de instalação estar concluído, foi necessário alterar a configuração do *Raspberry Pi* para permitir a utilização da câmara. Para isso, acedeu-se ao painel de configurações através do seguinte comando:

```
sudo raspi-config
```

Para que o *Raspberry Pi* pudesse estar inserido na rede de comunicação instalada neste projeto foi necessário atribuir-lhe um IP fixo. Para isso, foi alterado no ficheiro respetivo.

```
sudo nano /etc/network/interfaces
```



```
GNU nano 2.2.6      File: /etc/network/interfaces  
auto lo  
iface lo inet loopback  
iface eth0 inet static  
address 192.168.0.3  
netmask 255.255.255.0  
gateway 192.168.0.5  
  
allow-hotplug wlan0  
iface wlan0 inet manual  
wpa-roam /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf  
iface default inet dhcp
```

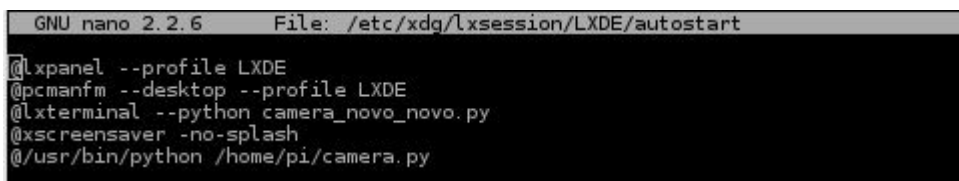
**Ilustração 4.27 - Alteração da configuração de IP do *Raspberry Pi*.**

Por último, procedeu-se à reiniciação de todo o sistema através do comando:

```
sudo reboot
```

Após toda a programação estar concluída, foi necessário efetuar umas alterações no sistema para que todo o processo corresse automaticamente, ficando, assim, o *Raspberry Pi* independente de algum suporte para efetuar o carregamento do ficheiro desenvolvido.

Deste modo, foi necessário introduzir o ficheiro pretendido numa zona de arranque de sistema, para que, quando todo o sistema prepara, neste caso, o *desktop*, ocorra simultaneamente o carregamento do ficheiro, ilustração 4.28.



```
GNU nano 2.2.6 File: /etc/xdg/lxsession/LXDE/autostart
@lxpanel --profile LXDE
@pcmanfm --desktop --profile LXDE
@lxterminal --python camera_novo_novo.py
@xscreensaver -no-splash
@/usr/bin/python /home/pi/camera.py
```

Ilustração 4.28 - Modificação das configurações de arranque de sistema.

### 4.3.2 Programação

Como é possível observar na ilustração 4.25, a programação baseia-se essencialmente em três fases. A segunda fase representa o processamento de imagem propriamente dito. As restantes fases estão mais relacionadas com a inicialização da comunicação e da comunicação entre o *Raspberry Pi* e os elementos presentes na rede de comunicação.

Inicialmente, antes de efetuar qualquer programação foi necessário dar a conhecer as bibliotecas que são necessárias e efetuar a sua importação:

```
from pymodbus.client.sync import ModbusTcpClient
import cv2
import math
import numpy as np
import picamera
```

A primeira fase caracteriza o início do processo. Nesta fase é feita uma inicialização do cliente entre o qual haverá permuta de informação, que neste caso é o autómato. (23)

```
client = ModbusTcpClient('192.168.0.1')
```

De seguida, é constantemente verificada uma variável do autómato que, quando ativada, inicia todo o processo de aquisição de imagem e posterior análise. (23)

```
coil=client.read_coils(address=33, count=1, unit=1)
```

Após a variável ser verificada é iniciada a fase de processamento. Como a câmara utilizada é desenvolvida especificamente para o *Raspberry Pi*, não é possível utilizar as funções de captura pertencentes à biblioteca *OPENCV*, sendo necessário utilizar o comando/função de sistema para efetuar essa mesma captura o que acarreta o aparecimento de um subprocesso e, consequentemente um processo mais demorado. (16)

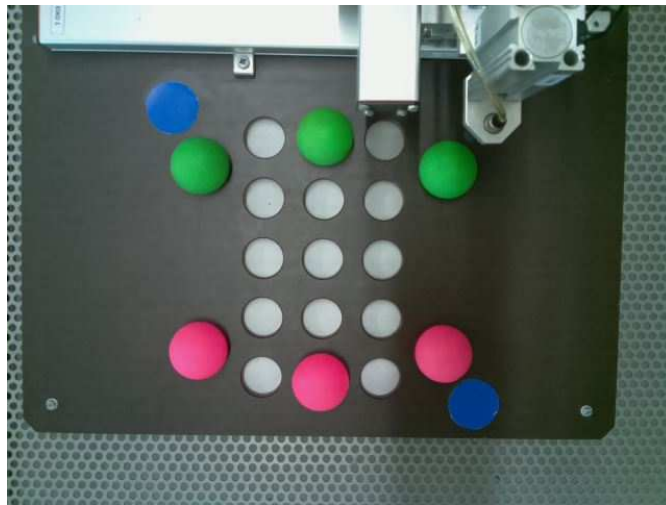
```
os.system("raspistill -w 640 -h 480 -o image.jpg")
```

De modo a contrariar este acontecimento, foi desenvolvida uma biblioteca, *picamera* que permite utilizar a câmara do *Raspberry Pi* diretamente do ficheiro em *Python*, ou seja, sem ocorrência de um subprocesso, permitindo uma redução do tempo de captação relativamente ao caso anterior. (16)

```
camera=picamera.Picamera()  
camera.capture('image.jpg')
```

Para que a imagem seja submetida a uma análise foi necessário carregar a imagem para o formato BGR através da função *cv2.imread()*. (24)

```
img=cv2.imread("image.jpg")
```



**Ilustração 4.29 - Imagem inicial captada pela câmara.**

Contudo, o formato que, por defeito, a imagem se apresenta não é o indicado ou mais eficiente para esta análise segundo as funcionalidades da biblioteca *OPENCV*, uma vez que, para utilizar o formato BGR era necessário utilizar uma função para separar os três canais, azul, verde e vermelho (*cv2.split(img)*) que adicionaria mais tempo a todo o processo. (24)

Deste modo, foi feita uma conversão do formato da imagem adquirida para o formato HSV através da função (*cv2.cvtColor()*). (24)

```
hsv=cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
```

O formato de cores HSV distingue as cores através de três componentes: (25)

- **Hue ou tonalidade:** permite distinguir as diferentes cores do espectro. O seu valor está compreendido entre 0 e 360 (graus).
- **Saturação:** representa a "pureza" da cor. Quanto maior o seu valor maior a sua pureza, o seu valor está compreendido entre 0 e 100%.
- **Valor:** representa o brilho da respetiva cor. O seu valor também está compreendido entre 0 a 100%.

Para o formato de cores HSV, a biblioteca *OPENCV* possui uma função muito útil (*cv2.inRange()*), que permite obter a cor pretendida apenas delimitando as gamas das três componentes correspondentes a essa cor, função esta que é utilizada mais à frente para isolar as cores dos marcadores e das bolas em análise.

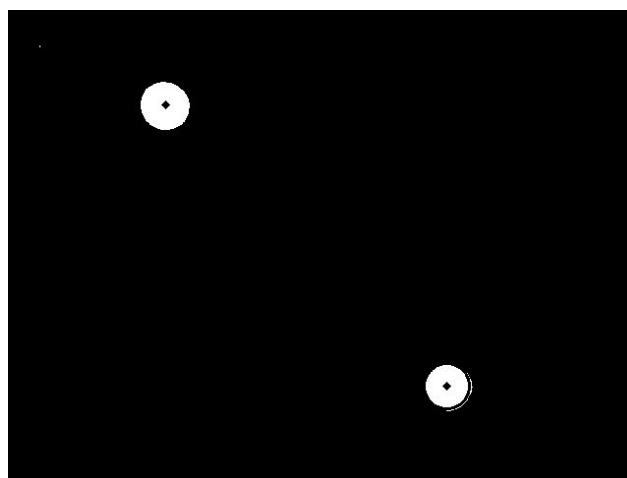
Inicialmente, é importante garantir que o processamento de imagem não é afetado por variações na posição do *Raspberry Pi*. Para isso, foram inseridos dois marcadores redondos azuis e foi efetuada a sua identificação e separação.

```
weaker=np.array([100,100,100])  
stronger=np.array([130,255,255])  
a=cv2.inRange(hsv,weaker,stronger)
```

Depois de isolada a cor dos marcadores, para a sua detecção e, mais à frente, das bolas de jogo, foi utilizada uma função (*HoughCircles()*) que deteta elementos circulares na imagem que é submetida para análise e retorna, numa matriz, as suas coordenadas e o seu raio. Assim, através destes dois marcadores é possível obter as suas posições e efetuar o recorte da imagem através dessas coordenadas. (24)

```
circles=cv2.HoughCircles(a,  
cv2.cv.CV_HOUGH_GRADIENT,1,100,param1=50,param2=1,minRadius=9,maxRadius=50)
```

Durante os testes da função (*HoughCircles()*) é de interesse prático usar a função (*cv2.circle()*) que permite utilizar as coordenadas presentes na matriz para desenhar a circunferência correspondente e poder visualizar se a detecção está a ser feita corretamente.



**Ilustração 4.30 - Imagem obtida após isolar a cor azul dos marcadores.**

Após a detecção dos marcadores e a apresentação das respetivas coordenadas, foi aplicada a função de recorte. Como a organização da matriz e, consequentemente das



coordenadas dos marcadores, não são fixas, foi necessário recorrer a função *min()* para encontrar a coordenada de menor valor e, a partir desta adicionar a distância entre ambas as coordenadas.

```
crop_img=img[ymin:ymin+(ymax-ymin),xmin:xmin+(xmax-xmin)]
```

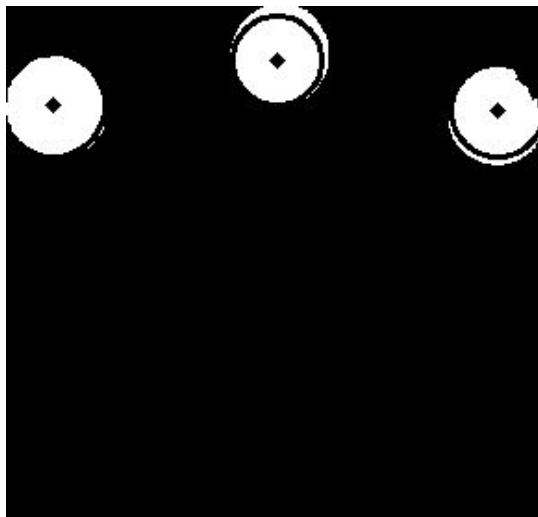


**Ilustração 4.31 - Imagem obtida após recorte.**

Quando o recorte da imagem é conseguido, é possível dar seguimento à análise de imagem com a segurança de que iremos trabalhar sempre na área de interesse, independentemente da posição da câmara, dentro do alcance da mesma.

Deste modo, é aplicada novamente uma filtragem da imagem, agora recortada, das cores verdes que precisamos para análise. Posteriormente, é utilizada a função *HoughCircles()* para detetar as circunferências de cada bola verde, ilustração 4.32.

```
hsv1=cv2.cvtColor(crop_img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
weaker=np.array([50,100,100])
stronger=np.array([100,255,255])
mask=cv2.inRange(hsv1,weaker, stronger)
circles1=cv2.HoughCircles(mask,
cv2.cv.CV_HOUGH_GRADIENT,1,50,param1=50,param2=13,minRadius=9,maxRadius=50)
```



**Ilustração 4.32** - Imagem obtida no fim da identificação das bolas verdes.

Na fase final do processamento, depois de ter cada bola identificada, é feita uma divisão de toda a área de jogo para que seja possível identificar a posição de cada bola detetada. Quando uma área verifica as coordenadas da bola é efetuado um envio de uma variável para o autómato para que seja identificada a bola na posição correspondente na HMI.

Por último, quando terminada a análise das posições de jogo, é atuada uma variável que irá permitir à HMI iniciar a recolha da informação enviada pelo *Raspberry Pi* e efetuar as verificações de jogo descritas no subcapítulo anterior.

#### **4.4 Rede de comunicação industrial local**

Nos sistemas industriais, a comunicação é uma área de crescente importância e tem vindo a sofrer constantes evoluções no sentido de tornar a comunicação entre os equipamentos industriais mais eficientes, principalmente a nível de velocidade de comunicação e fiabilidade do transporte dos dados enviados/recebidos.

Neste projeto, como em qualquer aplicação industrial, a comunicação tem um papel fundamental para que todos os equipamentos possam comunicar entre si e, assim, o sistema consiga desempenhar os objetivos para que foi desenvolvido. Deste modo, optou-se por implementar uma pequena rede de comunicação industrial local com a utilização de um *switch Ethernet*.

A escolha de uma rede local para servir de comunicação esteve assente nos seguintes pontos:

- Todos os equipamentos possuem portas *Ethernet* (RJ45) para suportar a rede de comunicação e são compatíveis com o protocolo de comunicação *Modbus TCP*;
- Um único protocolo de comunicação é necessário, *Modbus TCP*;

- Maior flexibilidade, ou seja, é possível aumentar consideravelmente o número de elementos na rede, sendo a única limitação o número de portas disponíveis pelo *switch*;
- Evita o problema de falta de portas série para comunicação assíncrona, através da porta *Ethernet*, comunicação síncrona, sendo assim possível comunicar com todos os elementos da rede;
- Permite aos equipamentos ter acesso à Internet, caso necessário. Assim, é possível criar ligações remotas aos equipamentos para manutenções/programações ou para iniciar ou participar no jogo.

De seguida é apresentado o endereçamento efetuado para cada elemento da rede e é feita uma descrição do protocolo assente na rede implementada, *Modbus TCP*.

#### 4.4.1 Endereçamento dos equipamentos

Na rede de comunicação industrial deste projeto decidiu-se atribuir uma identificação fixa para cada elemento. Deste modo, foram configurados três parâmetros: o endereço IP, a máscara de rede e o *Gateway*. O endereço IP é um protocolo de internet que permite identificar e localizar um determinado dispositivo na rede. A máscara de rede permite identificar uma determinada rede local na qual todos os elementos estejam inseridos, dentro de uma rede maior e, assim, aumentar a eficiência da rede reduzindo o tráfego da mesma. O *Gateway* permite identificar cada *router*/nó na rede, que serve de ponte de acesso para outras redes. No caso específico deste projeto de projeto, como apenas foi implementada uma rede local, este parâmetro é de menor interesse.

Na tabela 4.8 estão enumerados os dispositivos da rede e os seus respetivos endereços.

Tabela 4.8 - Endereçamento dos dispositivos da rede.

<i>Equipamento</i>	<i>Endereço IP</i>	<i>Máscara de rede</i>	<i>Gateway</i>
<b>Autómato</b>	192.168.0.1	255.255.255.0	192.168.0.5
<b>HMI</b>	192.168.0.2	255.255.255.0	192.168.0.5
<b>Sistema de imagem</b>	192.168.0.3	255.255.255.0	192.168.0.5
<b>Computador (programação)</b>	192.168.0.4	255.255.255.0	192.168.0.5

#### 4.4.2 Protocolo de comunicação - *Modbus*

O protocolo *Modbus*, desenvolvido em 1979 pela *Modicon* (agora *Schneider Electric*), é um protocolo de comunicação amplamente utilizado nos mais variados setores da indústria.

Este protocolo pode estar implementado numa comunicação série, através de dois modos de transmissão: RTU e *ASCII*, e comunicação via *Ethernet* TCP/IP.

Neste trabalho, como está implementada uma rede industrial baseada na comunicação via *Ethernet* TCP/IP, o protocolo de comunicação utilizado para comunicar entre os diferentes equipamentos é o *Modbus TCP*. Deste modo, o autómato está associado a um módulo *Ethernet* que permite suportar a comunicação série através de ligação RS485/RS232 em *frames* para serem enviados para a rede.

Os dois modos de transmissão da comunicação serial, RTU (*Remote Terminal Unit*) e *ASCII* são diferenciados na forma como são transmitidos os endereços de cada “telegrama”.

A transmissão série RTU é caracterizada por conter telegramas cujos valores estão em formato binário. Cada *frame* é constituído por: endereço do escravo, código da função que é requisitada, dados enviados ou recebidos e, por fim, um verificador de consistência de dados ou de erros, CRC, tabela 4.9. (26)

Tabela 4.9 - Estrutura do telegrama da comunicação *Modbus* RTU. (26)

<i>Endereço</i> (1 byte)	<i>Código de função</i> (1 byte)	<i>Dados enviados/recebidos</i> (N bytes)	<i>CRC</i> (2 bytes)
-----------------------------	-------------------------------------	--	-------------------------

Por sua vez, a transmissão serial *ASCII* possui os valores dos telegramas em caracteres *ASCII* (valores hexadecimais) pelo que é necessário dois caracteres para transmitir um *byte*, tabela 4.10. (26)

Tabela 4.10 - Estrutura do telegrama da comunicação *Modbus* *ASCII*. (26)

<i>Início</i> (1 Char)	<i>Endereço</i> (2 Chars)	<i>Código de função</i> (2 Chars)	<i>Dados enviados/recebidos</i> (N Chars)	<i>LRC</i> (2 Chars)	<i>Fim</i> (2 Chars)
---------------------------	------------------------------	--------------------------------------	--	-------------------------	-------------------------

Por último, o protocolo de comunicação *Modbus* TCP (*Transmission Control Protocol*), utilizado neste projeto, consiste no protocolo *Modbus* RTU com o invólucro *Ethernet* TCP/IP, permitindo assim a sua implementação numa rede *Ethernet*, de elevada utilização nos meios industriais. (27)

A estrutura de um *frame* é constituída por um cabeçalho de identificação de 7 bytes que vão substituir o endereço na comunicação serial RTU. Os restantes bytes são pertencentes ao código da função e aos dados enviados/recebidos, tabela 4.11. (27)

Tabela 4.11 - *Frame Modbus TCP* com transmissão TCP/IP. (27)

<i>Transaction identifier</i> (2 bytes)	<i>Protocol identifier</i> (2 bytes)	<i>Length field</i> (2 byte)	<i>Unit identifier</i> (1 byte)	<i>Function code</i> (1 byte)	<i>Data bytes</i> (n bytes)
--	---	---------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------



## 5 Conclusões

Esta dissertação teve como principal objetivo automatizar uma mesa do “Jogo do Galo” tornando o sistema tecnologicamente mais recente e apelativo. Deste modo, foram estudados os requisitos que o sistema deveria apresentar no fim desta dissertação, para que o seu grau de automatização fosse o pretendido. Os requisitos foram atingidos com sucesso.

A implementação da solução pensada para esta dissertação esteve assente, essencialmente, em 4 partes:

1. Implementação de um sistema electropneumático avançado e respetivo comando;
2. Desenvolvimento e programação de uma interface de jogo através de uma HMI (*Human-Machine-Interface*);
3. Implementação de um sistema de identificação de imagem;
4. Implementação de uma rede industrial local.

Para um pormenorizado conhecimento das características do presente sistema pneumático e seu controlo, foram efetuados estudos sobre o comportamento do sistema de posicionamento. Verificou-se que os erros obtidos experimentalmente correspondem aos erros calculados, com desvios dentro dos tolerados pelos requisitos iniciais. Os erros obtidos apresentam-se com uma elevada repetibilidade, pelo que são passíveis de serem compensados.

Uma vez analisado o comportamento dos atuadores pneumáticos, conclui-se que uma percentagem considerável destes erros deve-se a atrasos temporais conjuntos do sistema de controlo: autómato e eletroválvulas. Visto isto, pode afirmar-se que o autómato está exposto a maiores exigências que as estipuladas inicialmente para a seleção do mesmo.

A implementação do protocolo de comunicação *CANopen* para realizar a comunicação entre o autómato e o terminal de válvulas não foi possível ser realizada devido a incompatibilidades dos modos de funcionamento dos equipamentos envolvidos. A ligação entre os dois equipamentos foi assegurada por uma solução convencional.

A HMI desenvolvida cumpre os requisitos apresentados inicialmente. Esta apresenta dois modos de jogo: jogo entre dois jogadores e entre um jogador e a máquina. Cada modo de jogo descrito oferece a possibilidade de um jogador efetuar as jogadas movimentando manualmente as bolas. A HMI possui, também, uma área de manutenção ou definições restrita que permite a modificação dos parâmetros de sistema quando necessário.

A implementação do sistema de visão vai ao encontro, também, dos requisitos para esta dissertação, uma vez que, permite a realização de jogadas com movimentação de bolas manualmente. Este sistema é constituído por um computador de baixo custo, *Raspberry Pi* e uma câmara dedicada. A sua programação foi desenvolvida na linguagem *Python* e baseada na biblioteca de processamento de imagem, *OPENCV*. Na verificação da jogada efetuada, foram conseguidos tempos relativamente reduzidos, cerca de 4 a 5 segundos.

Por último, a implementação de uma rede industrial foi motivada pela sua compatibilidade entre todos os equipamentos presentes no sistema, com a utilização do protocolo de comunicação *Modbus TCP* e à sua flexibilidade relativamente à inserção de novos equipamentos no sistema.

Em conclusão, verificou-se que toda a solução implementada vai ao encontro dos requisitos traçados inicialmente, assim como, os objetivos principais para a dissertação. Deste modo, esta dissertação permite expor diferentes e recentes tecnologias e a sua aplicabilidade, o que acarreta um maior interesse didático ao sistema, nunca esquecendo a sua característica lúdica, através da interatividade entre os utilizadores e o sistema.



## 5.1 Trabalhos futuros

Dado como terminada esta dissertação, é feita, de seguida, sugestões de trabalhos futuros que podem complementar o trabalho realizado.

Deste modo, sugere-se a substituição do autómato por um mais recente, com capacidade para implementar o protocolo *CANopen* para efetuar a comunicação com o terminal de válvulas.

Uma vez verificado que o comportamento dos atuadores dos eixos x e y apresenta erros dinâmicos indesejáveis, sugere-se, a modificação dos dois atuadores pneumáticos por atuadores mais recentes e com características dinâmicas mais apelativas.

Sugere-se, também, a substituição da presente barreira imaterial de segurança de acesso à mesa de jogo por uma barreira ótica, mais dedicada e eficiente.

Como complemento ao trabalho realizado nesta dissertação, considera-se interessante a inserção deste sistema na rede da faculdade e, conseqüentemente, possibilitar a interação de utilizadores no sistema através da *Internet*.

Outro sugestão como trabalho futuro é o estudo mais detalhado das potencialidades de vídeo da biblioteca *OPENCV* e tentar, experimentalmente, complementar o sistema atual com novas funcionalidades de monitorização, nomeadamente de segurança do espaço de jogo e de rapidez de verificação das jogadas.



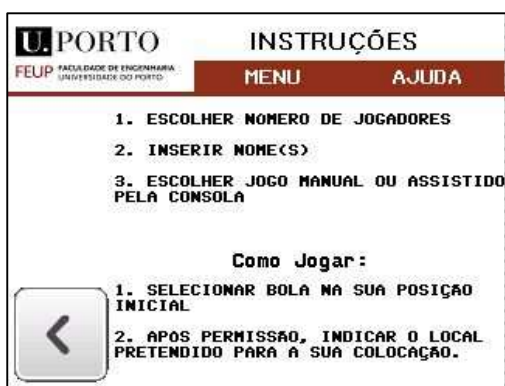
## 6 Bibliografia

1. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). *Wikipédia*. [Online] [Citação: 10 de 05 de 2014.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Tic-tac-toe>.
2. Joucomatic. *Datasheet - Cilindro pneumático sem haste série 446 Tipo STB*.
3. —. *Cilindro de curso reduzido - Datasheet*. 2005.
4. —. *Isoclaire Round cylinders - Datasheet*. 2009.
5. —. *Magnetic Position Detector - Datasheet*. 2009.
6. MTS SENSOR. *E-Series Models EP and EL - DataSheet*. 04/2013.
7. Coval. *Mini-Venturis série GV*. 01/2002.
8. LEGRIS. *Soluções de conexão para fluidos industriais - Catálogo Baixa-Pressão*. 2003-2004.
9. Joucomatic. *Pressostato Electrónico*.
10. FESTO. *Valve terminals VTUG*. 2013/12.
11. —. *Fieldbus modules CTEU*. 2014/01.
12. —. FESTO. [Online] 03 de 2014. [http://www.festo.com/cat/pt\\_pt/products\\_\\_65026](http://www.festo.com/cat/pt_pt/products__65026).
13. Schneider Electric. *Manual - O essencial de Automação*. 2010.
14. —. *Magelis HMISTU655/855 User Manual*. 2013/07.
15. Electric, Schneider. *Photo-Electric sensor - Difuse*.
16. RASPBERRY PI FOUNDATION. [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org). *Rasberry Pi*. [Online] <http://www.raspberrypi.org/picamera-pure-python-interface-for-camera-module/>.
17. D-LINK. *DES-1008D - User's Guide*. 2000.
18. Schneider Electric. *TwidoSuite - Programming guide*. 2011/06.
19. canopensolutions. [www.canopensolutions.com](http://www.canopensolutions.com). [Online] [http://www.canopensolutions.com/english/about\\_canopen/about\\_canopen.shtml](http://www.canopensolutions.com/english/about_canopen/about_canopen.shtml).
20. Schneider Electric. *Base PLC extensível TWIDO*.
21. —. *Vijeo Designer Tutorial*. 2006/03.
22. ModMyPi LTD. [www.modmypi.com](http://www.modmypi.com). *ModMyPi*. [Online] <https://www.modmypi.com/about-us>.

23. Collins, Galen. *Pymodbus documentation*. 32/07/2014.
24. OPENCV dev team. OPENCV-Python Tutorials. *OPENCV*. [Online]  
[http://docs.opencv.org/master/doc/py\\_tutorials/py\\_tutorials.html](http://docs.opencv.org/master/doc/py_tutorials/py_tutorials.html).
25. About Technology. *About Technology*. [Online] 2014.  
<http://desktoppub.about.com/od/glossary/g/HSV.htm>.
26. Contemporary Control Systems, Inc. Introduction to Modbus Serial and Modbus TCP. 2008.
27. ACROMAG INCORPORATED. *Introduction to Modbus TCP*. 2005.
28. Schneider Electric. *Documento Técnico - Redes de Comunicação Industrial*. 2010.
29. OXTS. *OXTS*. [Online] 2013. [Citação: 15 de 04 de 2014.] OXTS.
30. FESTO. *Valve terminals MPA-L*. 2014/02.
31. PARKER. *Pneumatic catalogue*. 2014/01.
32. UNIVER. *P10 compact valves*.
33. SMC. *Série S0700*.

## **ANEXO A: Interface da HMI**

## A1: Janelas principais da interface



- Painel de ajuda que permite o acesso a informações sobre as regras e instruções de jogo;
- Este permite o retrocesso para o painel anterior, menu ou interfaces de jogo.

- Painel informativo da estrutura a percorrer no jogo deste sistema.

- Painel informativo das regras gerais do jogo do galo.

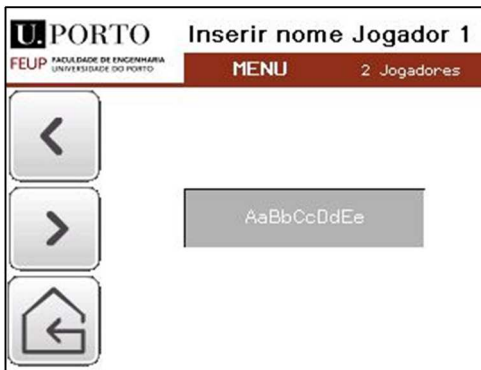
- Painel informativo do tema de dissertação do MIEM e respetivos intervenientes.



- Painel de “Definições” que permite a modificação de parâmetros de jogo, tais como, coordenadas das posições e erros de posicionamento ou a reposição dos valores iniciais;
- Possibilidade de reposição dos parâmetros iniciais.
- O presente painel permite a modificação individual dos dois tipos de erros presentes no sistema.



- Primeiro painel na iniciação de um jogo. Este permite a escolha do número de jogadores que pretendem jogar.
- Painel que proporciona a escolha entre os dois modos de jogo.



- Painel para a inserção no nome do jogador 1.



- Painel para a inserção do nome do jogador 2.

---

## A2: Emergência



- Painel de emergência. Quando premida a botoneira de emergência, ou os detetores fotoelétricos, são desativados os sistemas de atuação (terminal de válvulas e atuadores) ficam imóveis.




### A3: Alertas

**PRESSÃO INSUFICIENTE  
NO CIRCUITO  
PNEUMÁTICO.**

Por favor verifique  
alimentação de ar  
comprimido.

Reposicione a bola na  
ventosa

**SISTEMA EM EXECUÇÃO**  
Por favor, aguarde.



**TEMPO PARA EFETUAR  
JOGADA EXPIROU.**

O jogo será cancelado.

**TEMPO PARA  
PROCESSAMENTO DE  
JOGADA EXCEDIDO.**

Se efetuou jogada, por  
favor, verifique o  
estado da câmara e as  
bolas do tabuleiro.

**JOGADA INVALIDA.**

Por favor, efetue nova  
jogada.

- *Popup* que surge quando a pressão de alimentação é inferior a 3 bar.
- *Popup* que surge durante a movimentação do sistema de posicionamento.
- Durante o jogo, caso não se verifique nenhuma alteração na HMI dentro de um tempo máximo, surge um *popup* que cancela o jogo e reencaminha o sistema para o painel inicial.
- Quando o tempo para efetuar a análise da jogada efetuada ultrapassa um valor limite, surge este *popup*, indicando que algo de anormal ocorreu com o sistema de imagem ou no tabuleiro.
- *Popup* que surge quando alguma jogada não é válida. Esta permite efetuar a jogada novamente.



## **ANEXO B: Implementação do protocolo de comunicação *CANopen***

Uma vez alterada a comunicação entre o autômato e o terminal de válvulas devido a problemas de incompatibilidade, é apresentada neste anexo, uma descrição do protocolo de comunicação *CANopen* assim como a sua implementação no *software* de programação *TwidoSuite®*.

## **Protocolo de comunicação *CANopen***

*CANopen* é um protocolo normalizado pela CiA ( *CAN in Automation*) para sistemas de controlo industriais. Este é um sistema de elevada utilização na indústria devido ao seu baixo custo, a sua característica aberta e elevada flexibilidade. Este protocolo permite, também, troca de informação em tempo real sem sobre-carregamento do protocolo e a conexão de equipamentos de variados fabricantes. Baseado no *bus* de comunicação CAN (*controller area network*), possibilita uma situação de multimestre em que todos os elementos têm o mesmo nível de comunicação.

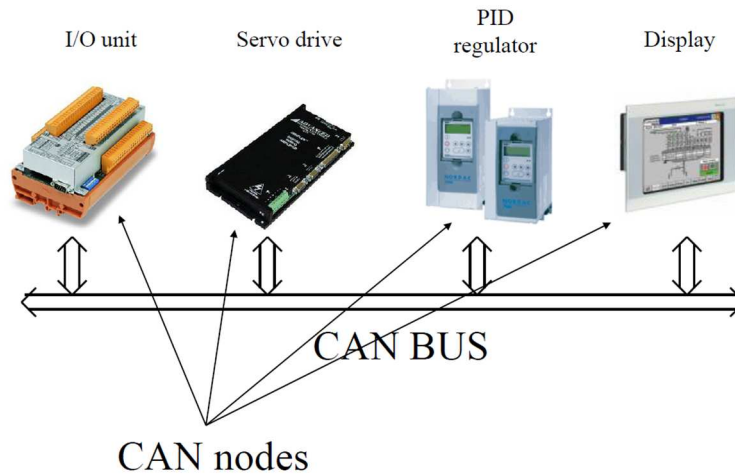
Este protocolo subentende cada elemento como um nó de comunicação e reconhece apenas as suas mensagens. Cada nó recebe todas as mensagens e filtra as que lhe são dirigidas. As mensagens possuem uma identificação que define a sua prioridade. A sua prioridade quando é elevada, apesar do elevado tráfego na rede o tempo de comunicação é sempre baixo.

Um nó pode enviar mensagens se o *bus* estiver desocupado. Se dois nós enviam simultaneamente mensagens, estas necessitam de ser monitorizadas para que o seu conflito não resulte na eliminação de ambas.

Por último, este protocolo permite a deteção e tratamento de erros, oferecendo uma menor probabilidade de erros na rede, sendo assim uma característica vantajosa. (28)

Cada elemento possui três partes:

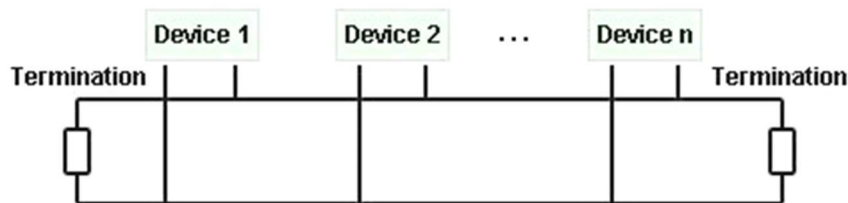
- Interface de comunicação e protocolo: serviços para transmitir e receber objetos de comunicação através do *bus*.
- Dicionário de objetos: descreve todo o tipo de dados, objetos de comunicação e objetos de aplicação do equipamento.
- Interface com o processo e programa de aplicação: controlo interno e interface com restante *hardware*. (28)

Estrutura do protocolo de comunicação *CANopen* (29)

## Arquitetura da rede *CANopen*

### Cablagem

Relativamente ao sistema deste projeto, a comunicação entre o mestre e escravo utilizando o protocolo de comunicação *CANopen* é efetuado através de três fios: CAN\_HIGH, CAN\_LOW e CAN\_GND, em fichas SUB-D9 que permitem a conexão direta entre o elemento mestre (módulo *CANopen* do autómato) e o escravo (módulo CTEU-CO do terminal de válvulas). Deste modo, os vários nós que a rede pode conter estão inseridos em paralelo, permitindo o fecho das duas linhas de comunicação.



Arquitetura de comunicação. (19)

A comunicação entre os dois equipamentos é feita através de sinais em corrente. Cada nó presente na rede de comunicação recebe esses sinais e convertem-nos para tensão, uma vez que estes apenas recebem sinais em tensão de 3.6V.

Como é possível observar na ilustração acima, o bus de comunicação *CANopen* possui uma resistência de terminação 120  $\Omega$  no fim da rede.

Esta resistência de terminação é essencial para um bom funcionamento da rede de comunicação devido a dois fatores: (29)

1. O *bus* de comunicação requer sempre que a comunicação retorne a 0V, logo, quando não existe nenhuma transmissão, a resistência permite sempre o retorno dos sinais a 0V.
2. Em situações diferentes das que se verificam neste projeto de dissertação, ou seja, quando o comprimento da rede de comunicação é elevado, a existência da resistência de terminação é, também, de elevada importância para inibir a reflexão de sinais quando estes chegam ao fim do *bus* de comunicação, evitando assim erros de comunicação. Esta situação pode acontecer devido à elevada frequência a que decorre a transferência de informação.

### Elementos de comunicação

A comunicação entre os vários elementos de uma rede de comunicação *CANopen* é caracterizada por possuir vários elementos com diferentes funções e que estão disponíveis em diferentes estados da rede de comunicação. Estes elementos são: PDO (*Process Data Object*) e SDO (*Service Data Object*).

PDO é um elemento constituinte do *bus* de comunicação *CANopen* que contém informação das entradas e/ou saídas. Assim, este pode ser dividido em PDO de transmissão (TX-PDO) ou PDO de receção (RX-PDO) quando este possui informação que foi transmitida ou será recebida por um nó, respetivamente. Este poderá estar também dividido no sentido de possuir apenas informação de entradas analógicas ou digitais, aplicando-se o mesmo para as saídas. A transmissão é sempre vista do ponto de vista do nó.

SDO é um objeto que contém parâmetros de comunicação. Normalmente, estes são utilizados para ler ou escrever parâmetros no nó.

Por último, cada objeto presente na rede, tem associado a si um objeto de identificação, COB-ID (*Communication Object Identifier*). Este objeto de identificação permite dar a conhecer a funcionalidade do objeto que representa. Cada tipo de objeto presente na rede *CANopen* em geral, possui sempre o mesmo COB-ID. (11)

## **Instalação**

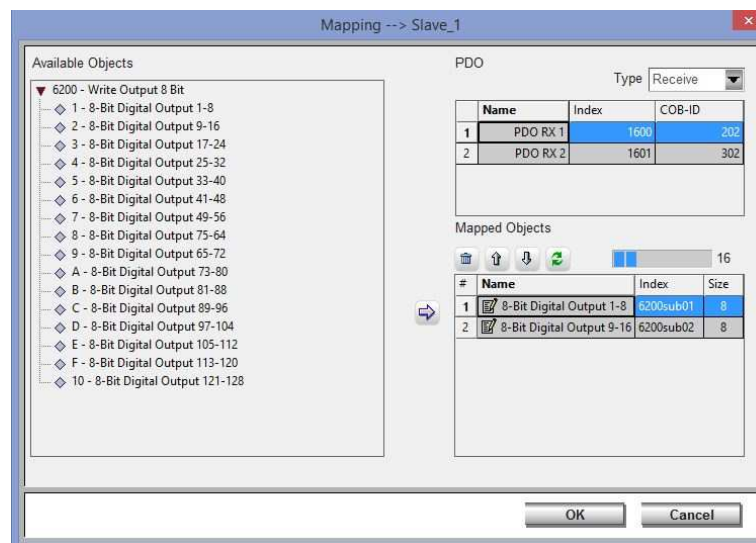
Por último, e depois de um estudo teórico deste protocolo e as suas características, é apresentada a sua implementação no *software* de programação *TwidoSuite®*. Esta implementação é feita em várias etapas distintas.

### Configuração do nó

Para que a comunicação *CANopen* entre o mestre e os seus escravos seja possível, inicialmente, é necessário dar a conhecer ao mestre os comandos possíveis para comandar o respetivo escravo. Assim, a cada escravo corresponde um ficheiro EDS que contém os comandos que se podem mapear para posteriormente serem utilizados.

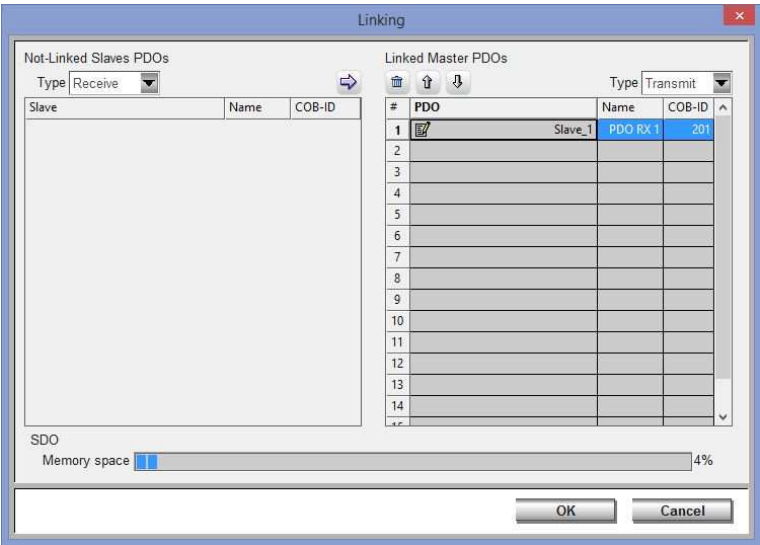
Como o terminal de válvulas não é do mesmo fabricante que o autómato, *FESTO* e *Schneider Electric*, respetivamente, este não está presente no catálogo de equipamento compatível no *software* para fazer a sua ligação ao módulo *CANopen* mestre. Deste modo, foi necessário efetuar o *download* do ficheiro EDS disponibilizado pelo fabricante FESTO e adicioná-lo ao catálogo do *software TwidoSuite*®.

Depois de concluída a importação dos parâmetros do terminal de válvulas, é necessário efetuar o mapeamento, no escravo, dos comandos que serão necessários. Neste caso, apenas é necessário efetuar o mapeamento dos primeiros 16 *bit* para a atuação das saídas (solenoides) no PDO de receção, PDO RX1. (18)



**Mapeamento do terminal de válvulas.**

No elemento mestre, autómato, é necessário efetuar a ligação dos elementos mapeados no escravo ao mesmo. Neste caso, como está configurado no elemento escravo instruções apenas de leitura, no mestre efetua-se a ligação da única instrução disponível para transmissão, PDO RX1.



Ligação dos parâmetros PDO ao elemento mestre.

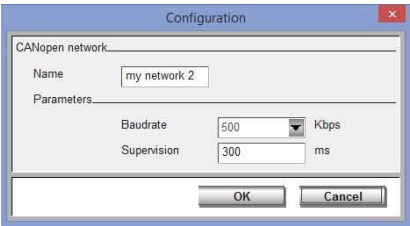
Após a configuração dos parâmetros necessários para comandar e/ou monitorizar o escravo, o *software* de programação disponibiliza uma tabela de todas as variáveis disponíveis para utilização na programação do autómato para o sistema deste projeto de dissertação.

Module configuration.									
#	Slave	Type	Supervision	Init	Used	Address	Symbol	Object	Size
1	Slave_1	CTEU-CO (V2.2)	None	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	%QWC1.0.0		8-Bit Digital Output 1-8	8
					<input checked="" type="checkbox"/>	%QWC1.0.1		8-Bit Digital Output 9-16	8

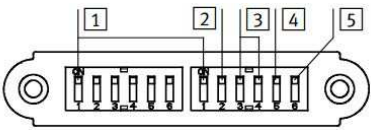
Comandos disponíveis para o escravo (terminal de válvulas).

Os parâmetros de rede, *baudrate* e nó do terminal de válvulas, também necessitam de serem configurados para que a comunicação entre o elemento mestre e o seu escravo ocorresse sincronamente. Esta configuração necessita de ser efetuada no *software* de programação e no terminal de válvulas nos *dip switch* presentes no mesmo.

Deste modo, define-se o *baudrate* de 500 Kbps/s no *software* e no terminal, correspondendo à ativação do *dip switch* 4. Como apenas existe um escravo, define-se, também, o nó do terminal de válvulas como nó 1, correspondendo, em linguagem binária, à ativação do primeiro *dip switch* do grupo 1. (18)



Configuração da rede.

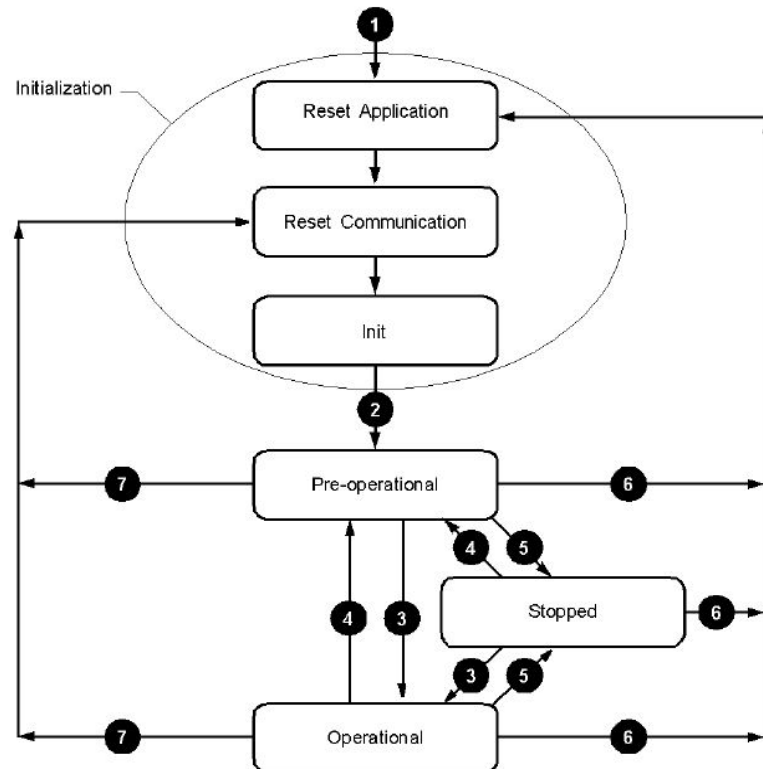


Configuração dos *dip switch*.



Processo de inicialização da comunicação

Após efetuada a configuração do nó da rede *CANopen*, e verificado que a comunicação está estabelecida, é necessário efetuar o processo de inicialização dos respetivos módulos e da rede de comunicação. Deste modo, o protocolo *CANopen*, dispõe de um processo de inicialização fixo e bem definido. (18)

Estados da rede *CANopen*. (18)

Legenda:

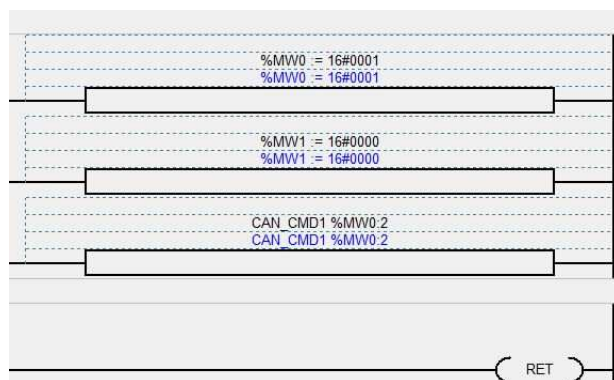
Número	Descrição
1	Energização do módulo
2	Após inicialização, o módulo entra no estado pré-operacional
3	Mensagem NMT <sup>10</sup> : <i>Start remote node</i>
4	Mensagem NMT: <i>Pré-operational</i>
5	Mensagem NMT: <i>Stop remote node</i>
6	Mensagem NMT: <i>Reset node</i>
7	Mensagem NMT: <i>Reset communication</i>

<sup>10</sup> NMT (*Network management service*): Conjunto de mensagens que permitem a gestão da rede *CANopen* e direcionam o estado da rede para os vários estados disponíveis.

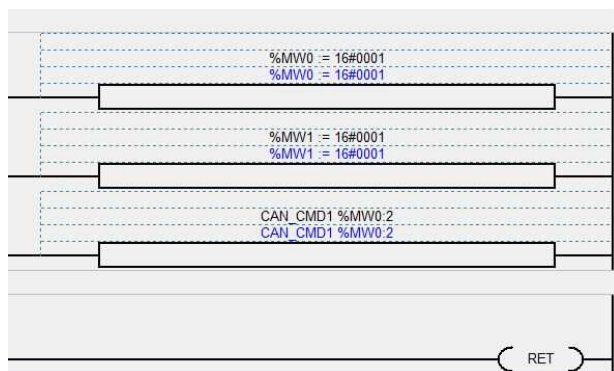
Para efetuar o processo de inicialização é utilizada uma tabela de configuração, CAN\_CMD disponibilizada pelo *software* de programação *TwidoSuite®*, ver anexo E.

Inicialmente, quando o autômato é energizado, ocorre o processo de inicialização. Este processo pode ocorrer automaticamente, no qual, posiciona o estado de comunicação no estado pré-operacional, ou pode ser feito manualmente através de comandos disponibilizados pelo *software* de programação. O processo de inicialização possui dois estados de preparação: *reset* do módulo e *reset* da comunicação, que por sua vez conduz o módulo para o modo *INIT*, onde são definidos os objetos de comunicação SDO, PDO e emergência e configurado o controlador CAN. Neste estado não estão ativos objetos de comunicação com o nó. (18)

Os comandos para efetuar a inicialização estão presentes em sub rotinas.



**Sub-rotina de reset do módulo.**



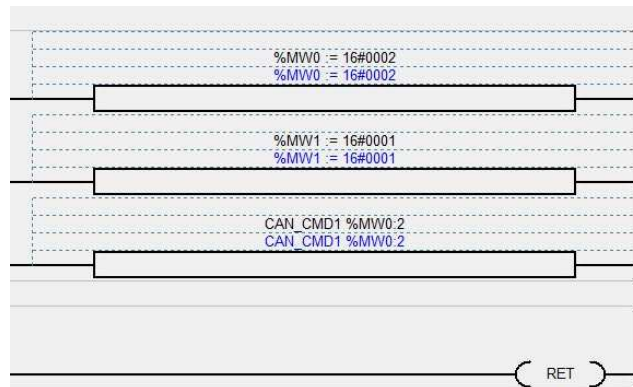
**Sub-rotina de reset da comunicação.**

Após o estado de inicialização, a mudança de estados é efetuada através de mensagens de gestão de rede, NMT.

Quando o módulo se encontra no estado pré-operacional, apenas podem ser usados objetos SDO para ler ou escrever as configurações do módulo.

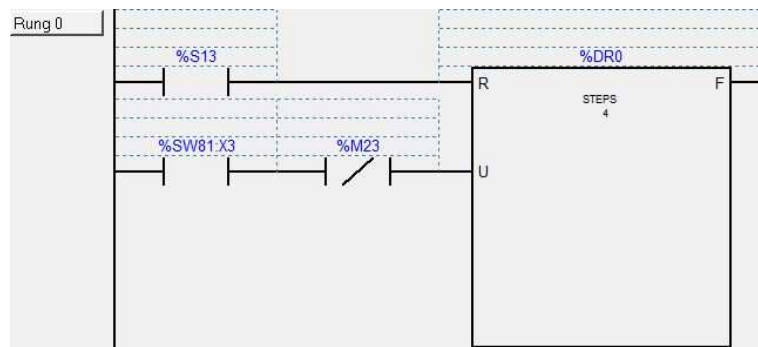
Após o estado de pré-operacional, existe a possibilidade de direcionar o módulo para o estado de parado, ou para o estado operacional. No estado operacional, todos os objetos de

comunicação estão disponíveis e os dispositivos da rede estão controlados pelo *master* da rede, autômato.



**Sub-rotina para estado operacional.**

Para efetuar a gestão dos comandos de inicialização acima descritos corretamente, pode ser utilizado um bloco funcional disponibilizado pelo autômato *Twido, Drum Controller*. Este bloco funcional possui uma matriz funcional, no qual podemos associar o controlo de uma variável a um *step*, ou nível do bloco funcional. Cada *step* é atingido por eventos externos. Quando ao *step* atual do bloco corresponde uma determinada ação indicada pelo programador, esta ação é realizada. Assim, através da variável de monitorização %SW81:X3 (=1 se a instrução foi corretamente enviada) é possível acionar sucessivamente os comandos de inicialização, garantindo que estes foram corretamente enviados. (18)

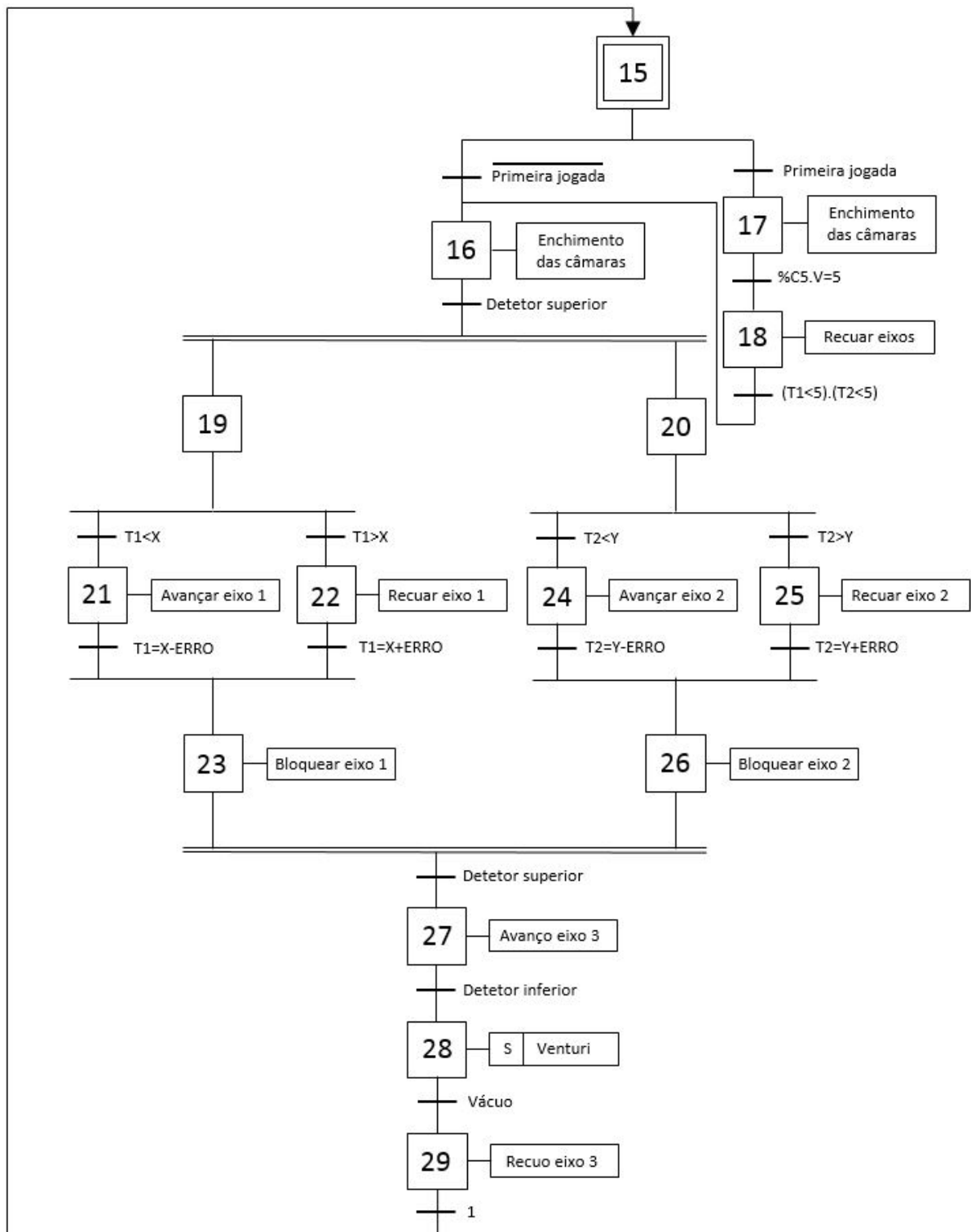


**Bloco funcional para a gestão dos comandos de inicialização da comunicação**

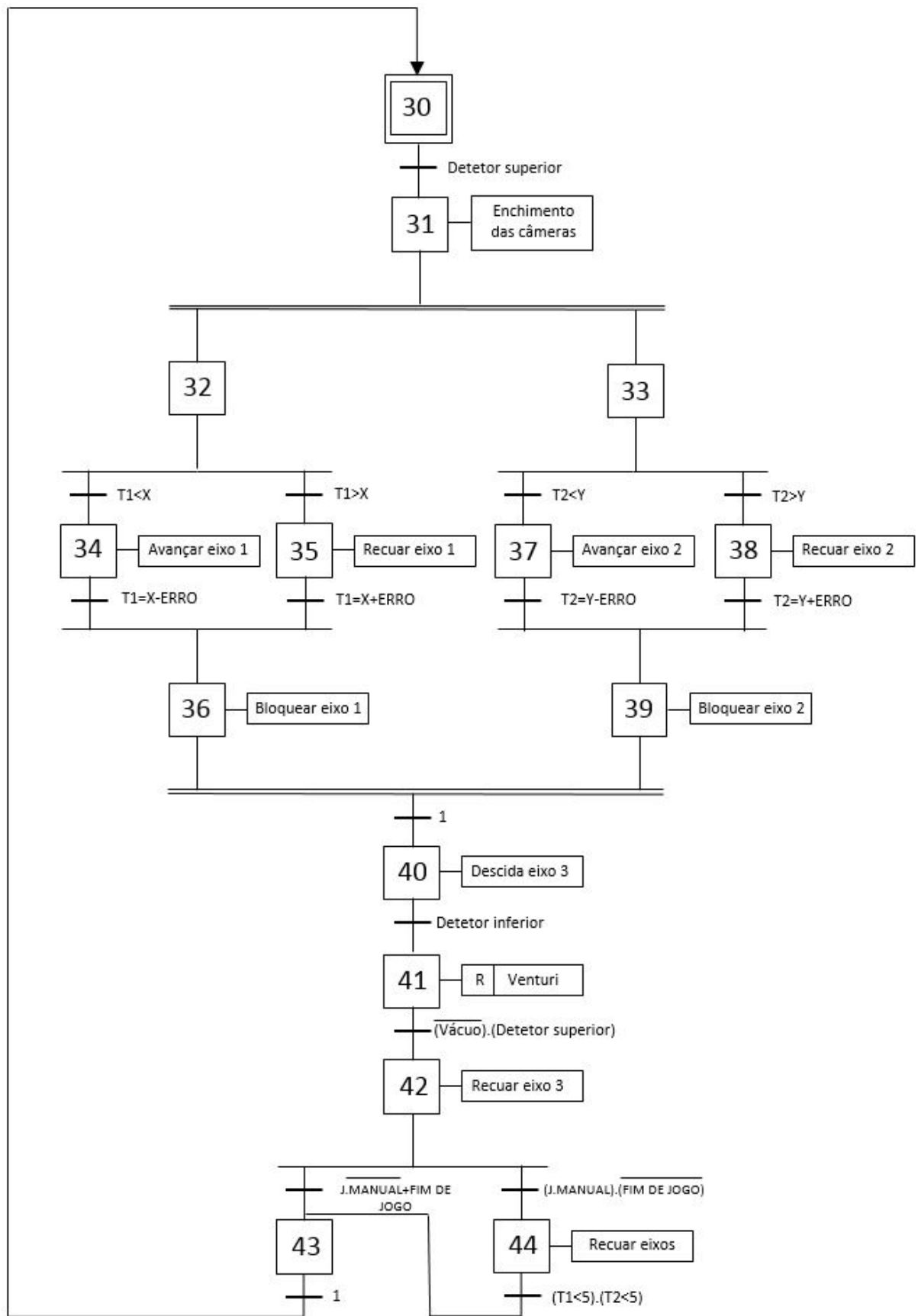


## **ANEXO C: *Grafcet's***





Grafset comportamental secundário - PICK



Grafet comportamental secundário - PLACE



## **ANEXO D: Folhas de características**

## Seleção das válvulas para o terminal VTUG

### Valve terminals VTUG with multi-pin plug and fieldbus connection

Order code – Sub-base valves M5/M7

**FESTO**

VUVG		-	10	-	
Valve design					
Sub-base valves		B			
Width					
10 mm		10			
Valve functions					
		M52			
		B52			
		P53C			
		P53U			
		P53E			
		T32C			
		T32H			
		T32U			

		-	-		
				Display	
				L	LED
				Electrical connection	
				T1	Plug-in
				Nominal operating voltage	
				1	24 V DC
				Pneumatic connection	
				F	Flange/sub-base
				Manual override	
				H	Non-detenting
				S	Covered
				T	Non-detenting, detenting
				Pilot air	
				Z	External
				Reset method	
				A	Pneumatic spring for 2x3/2-way
				M	Mechanical spring for M52 and 2x3/2-way
				R	Pneu./mech. spring for M52
				-	With B52 and P53

## Caraterísticas das válvulas seleccionadas

### Valve terminals VTUG with multi-pin plug and fieldbus connection




**FESTO**

Technical data – Sub-base valves G1/8

**Function**

 2x3/2C, 2x3/2U, 2x3/2H  
 5/2-way, single solenoid  
 5/2-way, double solenoid  
 5/3C, 5/3U, 5/3E

Circuit symbol → page 10

-  Width 14 mm  
 Flow rate  
 440 ... 560 l/min  
 Voltage  
 24 V DC



General technical data										
Valve function	T32-A			T32-M			M52-A	B52	M52-M	P53
Normal position	C <sup>1)</sup>	U <sup>2)</sup>	H <sup>4)</sup>	C <sup>1)</sup>	U <sup>2)</sup>	H <sup>4)</sup>	–	–		C <sup>1)</sup> U <sup>2)</sup> E <sup>3)</sup>
Stable position	Monostable							Bistable	Monostable	
Pneumatic spring reset method	Yes			No			Yes	–	No	–
Mechanical spring reset method	No			Yes			No	–	Yes	–
Vacuum operation at port 1	No			With external pilot air						
Design	Piston spool valve									
Sealing principle	Soft									
Actuation type	Electric									
Type of control	Piloted									
Pilot air supply	External									
Exhaust function	With flow control									
Manual override	Choice of non-detenting/detenting (standard), non-detenting or covered									
Type of mounting	On manifold rail									
Mounting position	Any									
Switching position display	LED									
Standard nominal flow rate G18	[l/min]	530		470		550		560	550	510
Flow rate on manifold rail G18, front	[l/min]	490		440		500		510	500	470
Flow rate on manifold rail G18, underneath	[l/min]	530		470		550		560	550	510
Width	[mm]	14								
Port 1, 3, 5	On manifold rail									
Port 2, 4	G1/8									
Port 12, 14	On manifold rail									
Product weight	[g]	102		100		91		98	89	95
Corrosion resistance class	CRC	2 <sup>b)</sup>								

1) C = Normally closed

2) U = Normally open

3) E = Normally exhausted

4) H = 2x3/2-way valve in one housing with 1x normally closed and 1x normally open

5) Combined reset method

6) Corrosion resistance class 2 according to Festo standard 940 070

Components subject to moderate corrosion stress. Externally visible parts with primarily decorative surface requirements which are in direct contact with a normal industrial environment or media such as coolants or lubricating agents.

## Valve terminals VTUG with multi-pin plug and fieldbus connection

**FESTO**

Technical data – Sub-base valves G1/8

Operating and environmental conditions						
Valve function		T32-A <sup>1)</sup>	T32-M <sup>3)</sup>	M52-A <sup>1)</sup>	B52	M52-M <sup>3)</sup> P53
Operating medium		Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [7:4.4]				
Operating pressure	Internal	[bar]	1.5 ... 8	2 ... 8	2.5 ... 8	1.5 ... 8
	External	[bar]	1.5 ... 10	-0.9 ... 10		3 ... 8
Pilot pressure <sup>4)</sup>		[bar]	1.5 ... 8	2 ... 8	2.5 ... 8	1.5 ... 8
Ambient temperature		[°C]	-5 ... +60			
Temperature of medium		[°C]	-5 ... +60			

1) Pneumatic spring

3) Mechanical spring

4) Minimum pilot pressure 50% of operating pressure

Electrical data	
Electrical connection	Via sub-base
Operating voltage	[V DC] 24 ±10%
Power	[W] 1/0.4 (after 25 ms)
Duty cycle	[%] 100
Protection class to EN 60529	IP67

Information on materials	
Housing	Wrought aluminium alloy
Seals	HNBR, NBR
Note on materials	RoHS-compliant

Valve switching times [ms]						
Valve function		T32-A <sup>1)</sup>	T32-M <sup>2)</sup>	M52-A <sup>1)</sup>	B52	M52-M <sup>2)</sup> P53
Switching time on	[ms]	10	13	13	–	10 15
Switching time off	[ms]	29	21	26	–	38 42
Changeover time	[ms]	–	–	–	9	– 25

1) Pneumatic spring

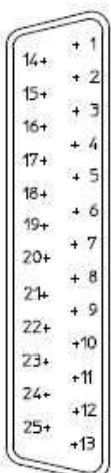

2) Mechanical spring

## Layout da ficha SUB-D 25 do módulo multipino D25

### Valve terminals VTUG with multi-pin plug connection

FESTO

Technical data – Multi-pin plug connection

Pin allocation – Sub-D plug, 25-pin									
	M1-25 (V20)								
	Pin	12x double solenoid		8x double solenoid 8x single solenoid		4x double solenoid 16x single solenoid		24x single solenoid	
	1	VP0	14	VP0	14	VP0	14	VP0	14
	2	VP0	12	VP0	12	VP0	12	VP23	14
	3	VP1	14	VP1	14	VP1	14	VP1	14
	4	VP1	12	VP1	12	VP1	12	VP22	14
	5	VP2	14	VP2	14	VP2	14	VP2	14
	6	VP2	12	VP2	12	VP2	12	VP21	14
	7	VP3	14	VP3	14	VP3	14	VP3	14
	8	VP3	12	VP3	12	VP3	12	VP20	14
	9	VP4	14	VP4	14	VP4	14	VP4	14
	10	VP4	12	VP4	12	VP19	14	VP19	14
	11	VP5	14	VP5	14	VP5	14	VP5	14
	12	VP5	12	VP5	12	VP18	14	VP18	14
	13	VP6	14	VP6	14	VP6	14	VP6	14
	14	VP6	12	VP6	12	VP17	14	VP17	14
	15	VP7	14	VP7	14	VP7	14	VP7	14
	16	VP7	12	VP7	12	VP16	14	VP16	14
	17	VP8	14	VP8	14	VP8	14	VP8	14
	18	VP8	12	VP15	14	VP15	14	VP15	14
	19	VP9	14	VP9	14	VP9	14	VP9	14
 Note A grey field means that a double solenoid valve can be used, while a white field means that only single solenoid valves can be used.	20	VP9	12	VP14	14	VP14	14	VP14	14
	21	VP10	14	VP10	14	VP10	14	VP10	14
	22	VP10	12	VP13	14	VP13	14	VP13	14
	23	VP11	14	VP11	14	VP11	14	VP11	14
	24	VP11	12	VP12	14	VP12	14	VP12	14
	25	Com		Com		Com	Com	Com	

VP Valve position

## Processador modular TWIDO - TMDLMDA40DTK

### Ficha de produto

#### Características

### TWDLMDA40DTK

CPU modular Twido 24 V - 24 E 24 V CC - 16 S estado sólido

Preço\*: 5.42 EUR



#### Principal

Situação comercial	Comercializado
Gama do produto	Twido
Tipo de produto ou componente	Contator modular
Número de E/S discretas	40
Número de entrada discreta	24
Lógica de entrada discreta	Tipo 2
Tensão de entrada discreta	24 V
Tipo de tensão de entrada discreta	0,1 A
Número de saída discreta	16 para triac (rede ou colector)
[Us] tensão de alimentação nominal	24 V CC
Número de módulo de expansão E/S	7
Ranuras livres	2
Utilização de ranuras	Cartucho de memória de 32 K e 1 relógio em tempo real

#### Complementar

Limites da tensão de entrada	20,4 ... 28,8 V
Corrente de entrada discreta	7 mA para I2 ... I5 7 mA para I0, 2 a I0, 8 5 mA para I0, 8 a I0, 11 5 mA para I0, 2 a I0, 13
Impedância de entrada	5700 Ohm para I0, 8 a I0, 11 5700 Ohm para I0, 2 a I0, 13 4700 Ohm para I2 ... I5 4700 Ohm para I0, 2 a I0, 8
Tempo de filtragem	20...40 ms do estado 0 para o estado 1 45 µs de I0,6 a I0,7 do estado 0 para o estado 1 45 µs + tempo programado do filtro de I0,0 a I0,5 do estado 1 para o estado 0 40 µs de I0,8 a I0,11 do estado 1 para o estado 0 4 ms por predefinição do estado 1 para o estado 0 35 µs de I0,6 a I0,7 do estado 1 para o estado 0 150 µs + tempo programado do filtro de I0,6 a I0,13 do estado 0 para o estado 1 150 µs de I0,8 a I0,11 do estado 0 para o estado 1
Isolamento entre o canal e a lógica interna	500 Vrms em 1 minuto
Resistência de isolamento entre o canal	> 0,1 GΩ
Tensão de saída discreta	24 V
Limites da tensão de saída	200...264 V
Corrente por canal	0,36 A para entradas de disparo (24 V), saídas de disparo (TTL)
Corrente por saída comum	1 A para entradas de disparo (24 V), saídas de disparo (TTL)
Tempo de resposta	5 ms do estado 1 para o estado 0 5 ms do estado 0 para o estado 1 300 µs de Q0,2 a Q0,7 do estado 1 para o estado 0 300 µs de Q0,2 a Q0,7 do estado 0 para o estado 1
[Ures] tensão residual	<= 1 V do estado 1 para o estado 0
Corrente de fuga	0,4 mA
Protecção contra sobretensão de saída	39 V



## Módulo de 2 entradas analógicas e 1 saída analógica – TM2AMM3HT

### Product data sheet

#### Characteristics

### TM2AMM3HT

analog input/output module M238 - 2 inputs  
voltage/current high level - 1 output



#### Main

Range of product	Modicon M238 logic controller
Product or component type	Input/Output analog module
Analogue input number	2
Analogue input type	Current 4...20 mA non differential Voltage 0...10 V non differential
Analogue output number	1
Analogue output type	Current 4...20 mA Voltage 0...10 V
Cross talk	<= 2 LSB

#### Complementary

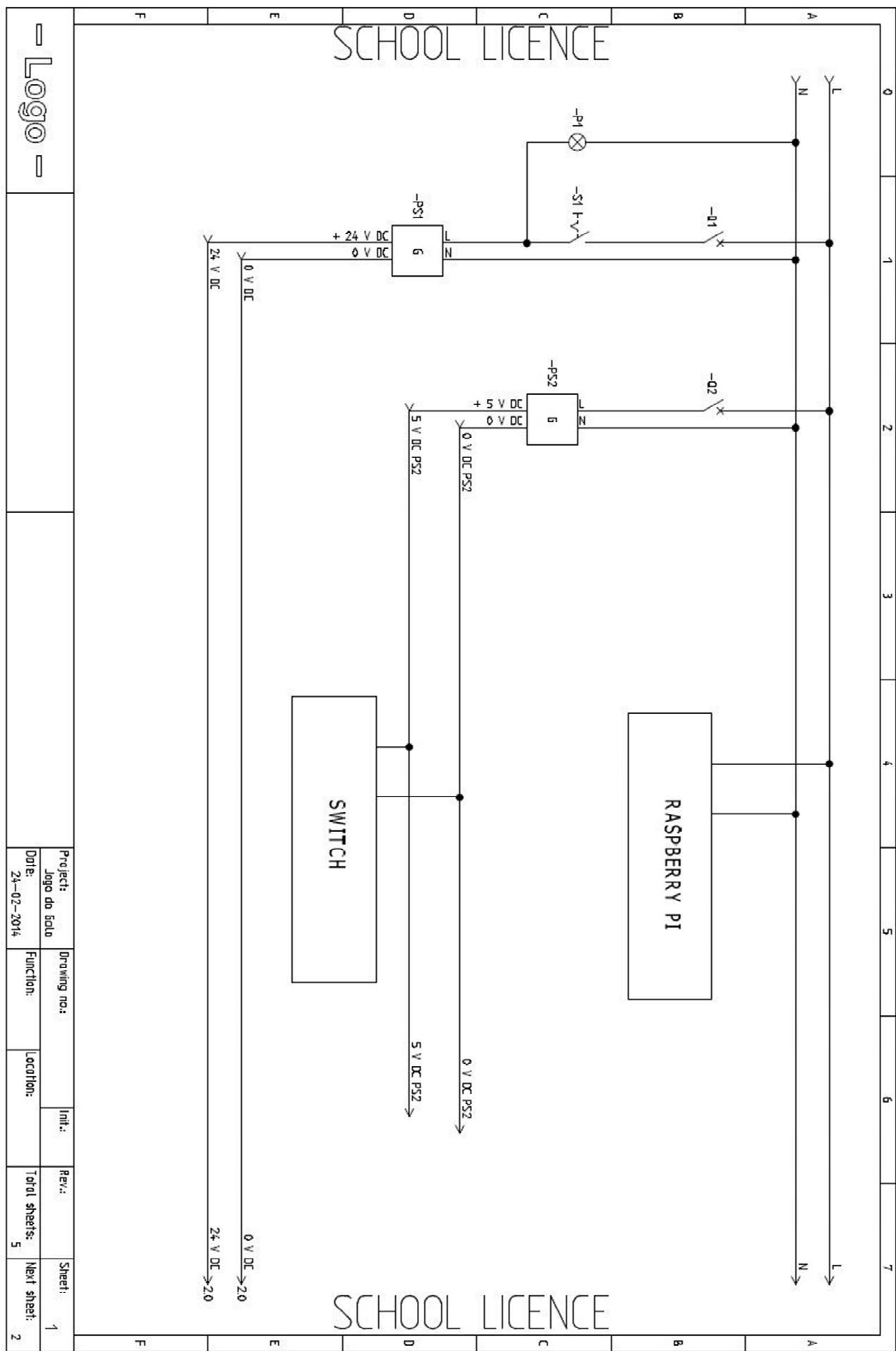
Range compatibility	Advantys OTB Twido
Input level	High level
Analogue input resolution	12 bits
Analogue output resolution	12 bits
LSB value	2.5 mV voltage 2.5 mV voltage 4.8 µA current 4.8 µA current
Permissible continuous overload	13 V voltage 40 mA current
Input impedance	≥ 10 Ohm current ≥ 1 MOhm voltage
Load type	Resistive
Load impedance ohmic	≤ 300 Ohm current ≥ 2000 Ohm voltage
Stabilisation time	20 ms
Conversion time	20 ms + 1 controller cycle time
Sampling duration	≤ 10 ms
Acquisition period	60 ms per channel + 1 controller cycle time
Measurement error	+/- 0.2 % of full scale 0...10 V 25 °C +/- 0.2 % of full scale 4...20 mA 25 °C +/- 0.2 % of full scale 0...10 V 25 °C +/- 0.2 % of full scale 4...20 mA 25 °C
Temperature coefficient	+/-0.006 %FS/°C 0...10 V +/-0.006 %FS/°C 4...20 mA +/-0.015 %FS/°C 0...10 V +/-0.015 %FS/°C 4...20 mA
Repeat accuracy	+/-0.5 %FS input/output
Non-linearity	+/- 0.2 %FS voltage +/- 0.2 %FS current +/- 0.2 %FS voltage +/- 0.2 %FS current
Output error	+/- 1 %FS
Output ripple	<= 1 LSB
Total error	+/-1 %FS voltage +/-1 %FS current +/-1 %FS voltage +/-1 %FS current
Type of cable	Shielded cable
Insulation between channel and internal logic	Photocoupler

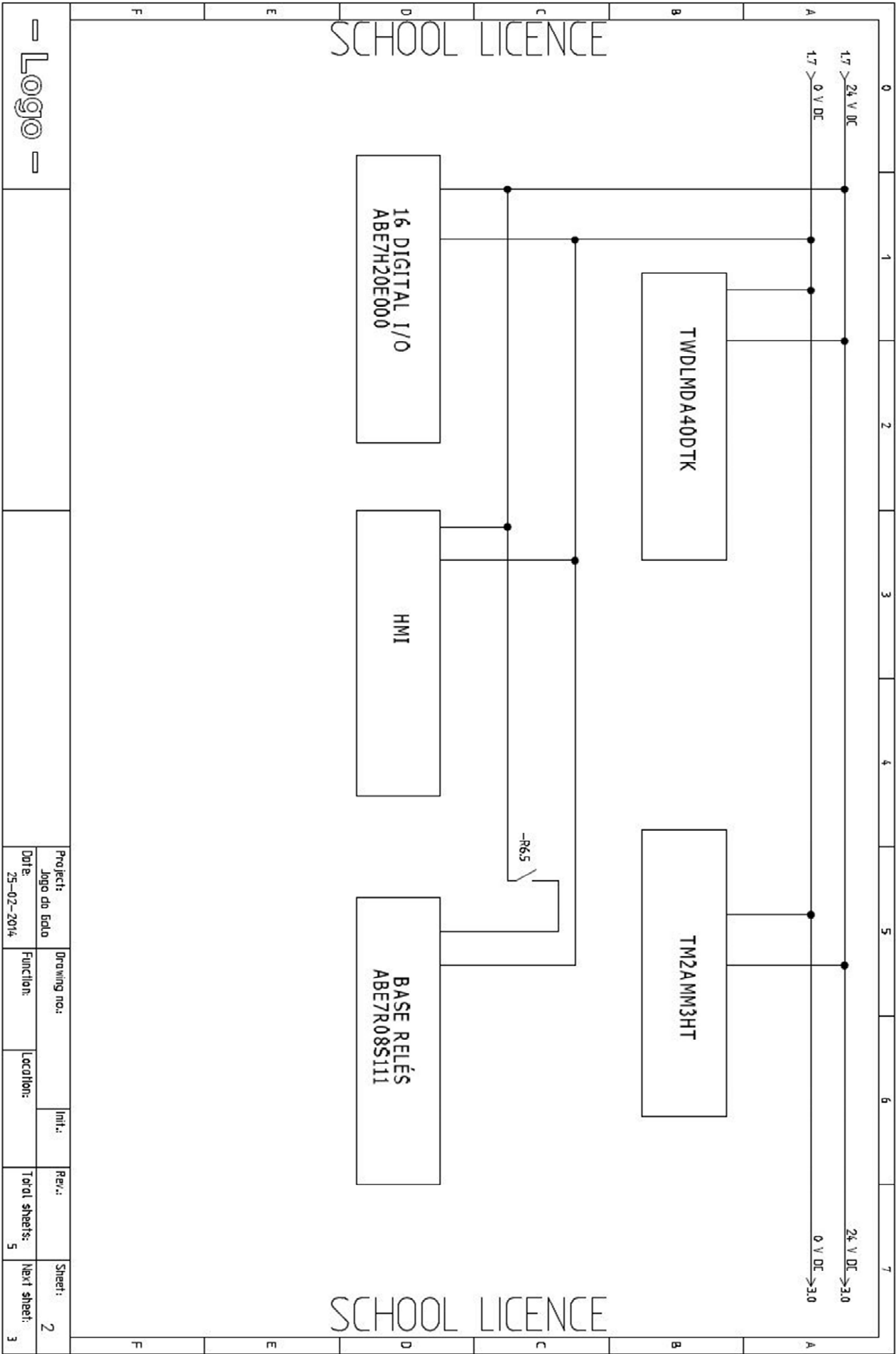
## Tabela de configuração da inicialização do protocolo *CANopen*

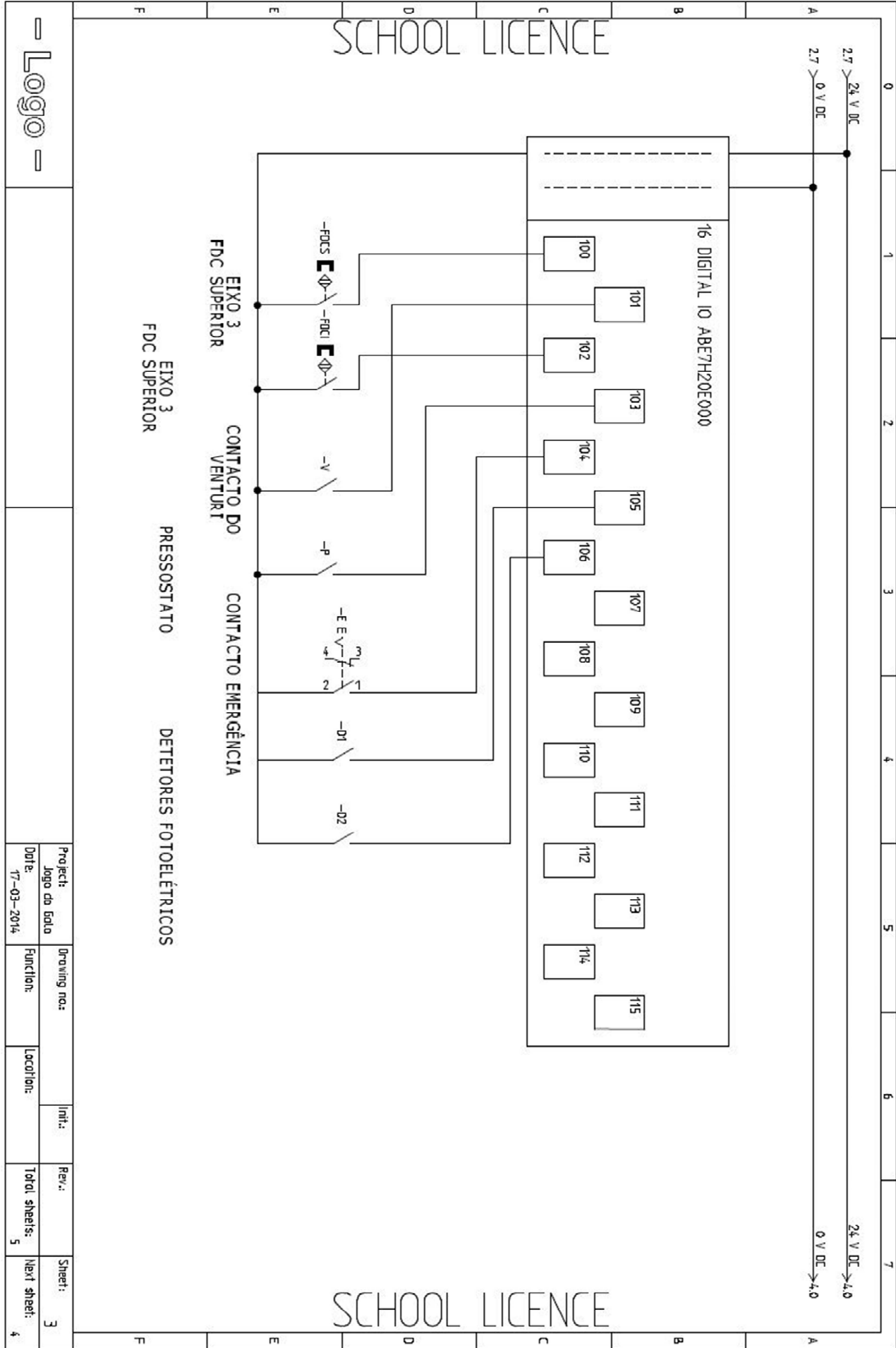
%MWx	%MWx+1		%MWx+2		%MWx+3		%MWx+4		%MWx+5		Action
	Bit [15-8]	Bit [7-0]	Bit [15-8]	Bit [7-0]	Bit [15-8]	Bit [7-0]	Bit [15-8]	Bit [7-0]	Bit [15-8]	Bit [7-0]	
1	0		-								Reset CANopen communication.
1	1										Reset CANopen nodes.
2	0										Switch from operational to pre-operational mode.
2	1										Switch to operational mode.
3 or 4											3 => Start Read SDO command. 4 => Start Write SDO command.
	Node										Node = 1-16 => Node address
			Index								PDO object index.
					Sub	Len					Sub = 0-255 => Object sub-index Len = Length of data in byte
							Data 1				Payload according to the length field (Len) value
									Data 2		Payload according to the length field (Len) value

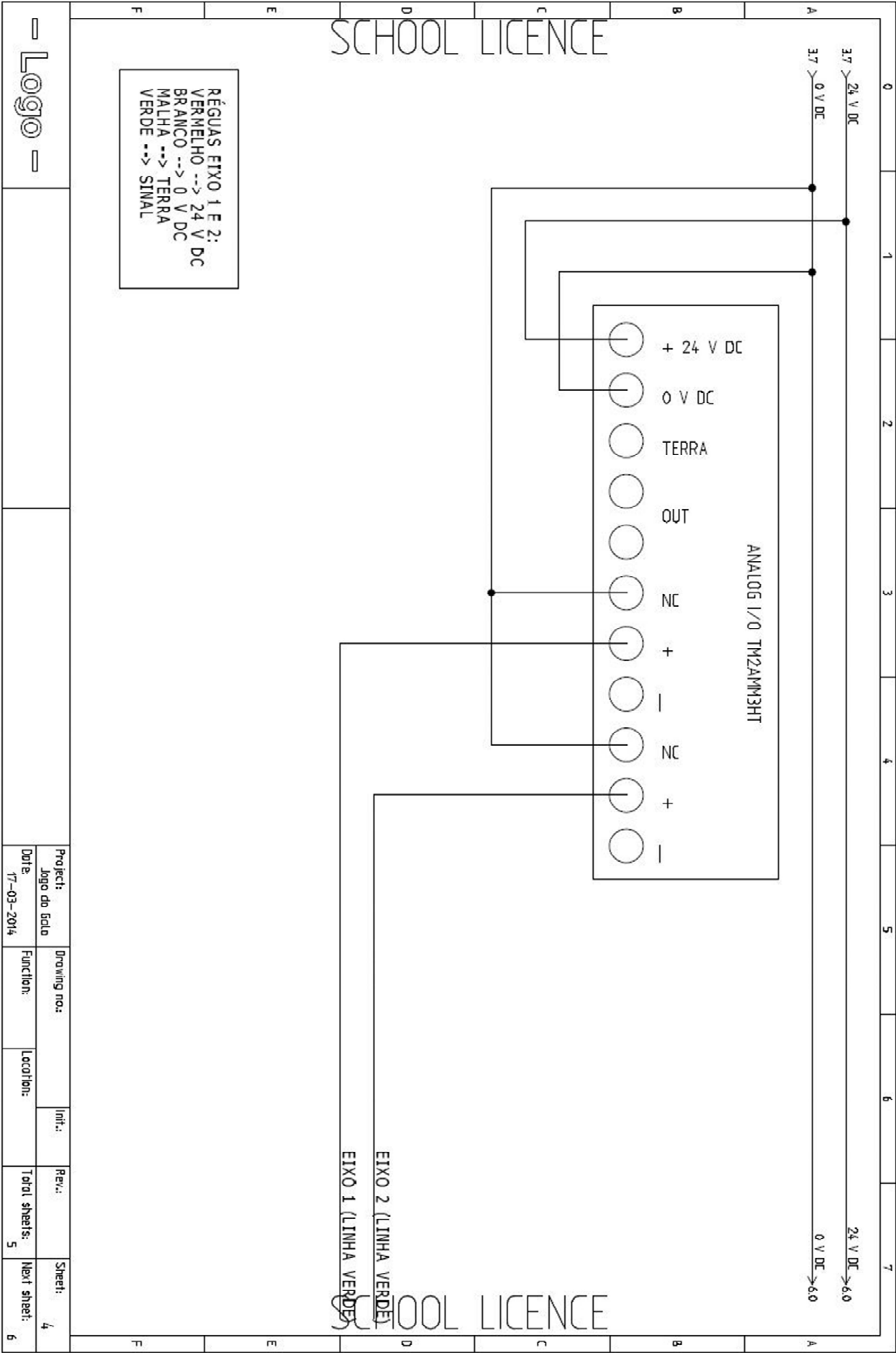


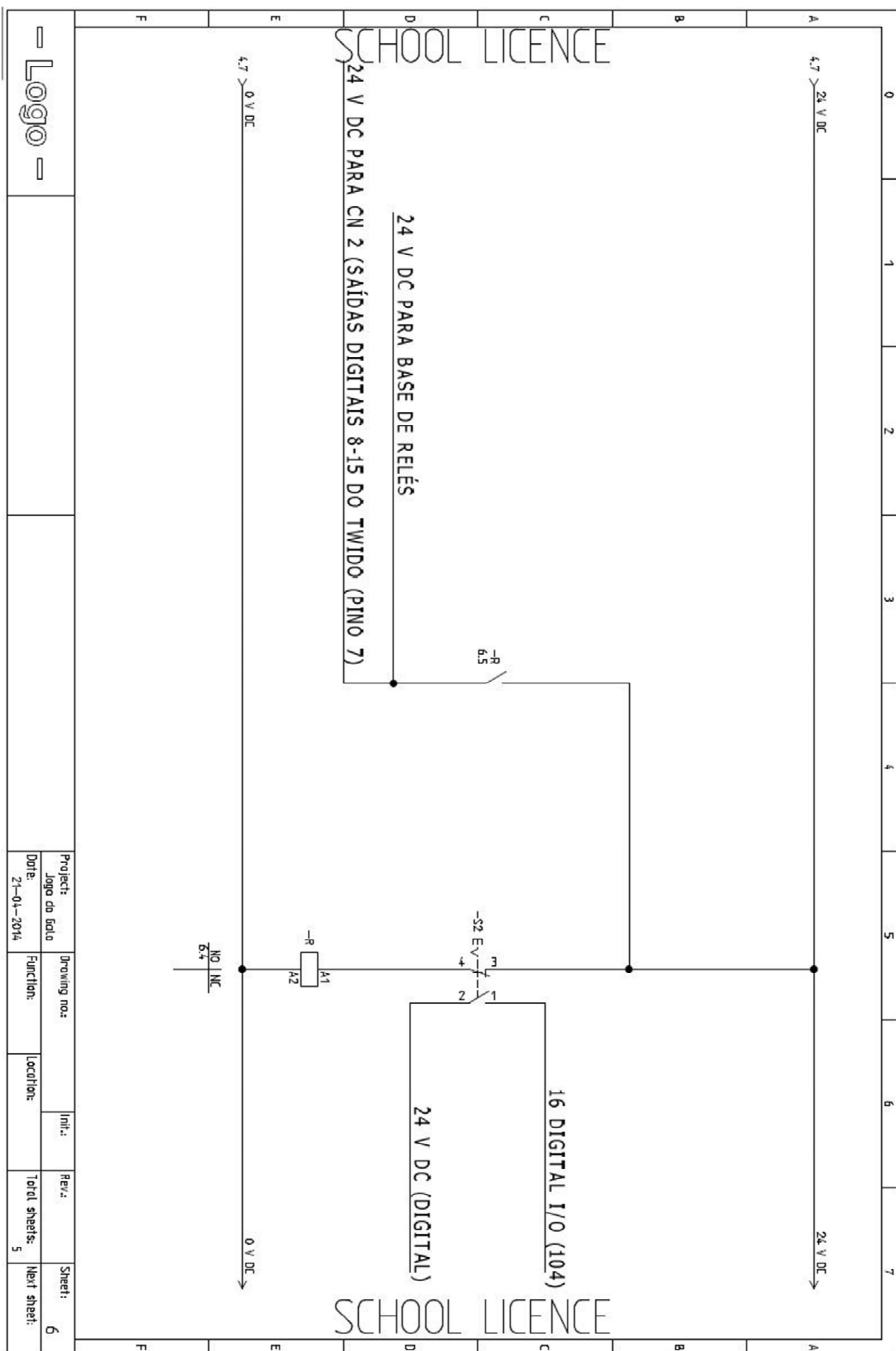
## **ANEXO E: Esquemas elétricos**











## **ANEXO F: Tabelas de ligações**

**Função de cada pino do canal 1 do controlador.**

Cabo de ligação: CH 1	
Pino	Descrição
1	V(-) 0 VDC
2	COM(-) 0 VDC
3	V(-) 0 VDC
4	Entrada digital não utilizada
5	COM(+) 24 VDC
6	Entrada digital não utilizada
7	COM(+) 24 VDC
8	Entrada digital não utilizada
9	COM(+) 24 VDC
10	Entrada digital não utilizada
11	Saída digital para válvula não utilizada
12	Entrada digital não utilizada
13	Saída digital para válvula não utilizada
14	Detetor fotoelétrico
15	Saída digital para válvula não utilizada
16	Detetor fotoelétrico
17	Saída digital para válvula V32
18	Monitorização da emergência
19	Saída digital para válvula V22
20	Pressostato
21	Saída digital para válvula V21
22	Detetor inferior
23	Saída digital para válvula V12
24	Feedback gerador de vácuo
25	Saída digital para válvula V11
26	Detetor superior

**Função de cada pino do canal 2 do controlador.**

Cabo de ligação <i>flat cable</i> : CH 2	
Pino	Descrição
1	V(-) 0 VDC
2	COM(-) 0 VDC
3	V(-) 0 VDC
4	Entrada digital não utilizada
5	COM(+) 24 VDC
6	Entrada digital não utilizada
7	COM(+) 24 VDC
8	Entrada digital não utilizada
9	COM(+) 24 VDC
10	Entrada digital não utilizada
11	Saída digital para válvula não utilizada
12	Entrada digital não utilizada
13	Saída digital para válvula não utilizada
14	Entrada digital não utilizada
15	Saída digital para válvula V43
16	Entrada digital não utilizada
17	Saída digital para válvula V42
18	Entrada digital não utilizada
19	Saída digital para válvula V41
20	Entrada digital não utilizada
21	Saída digital para válvula V31
22	Entrada digital não utilizada
23	Saída digital para válvula V23
24	Entrada digital não utilizada
25	Saída digital para válvula V13
26	Entrada digital não utilizada



**Associação dos pinos da ficha D-25 a cada válvula disponível.**

Cabo de ligação para ficha D 25		
Pino	Descrição	Saída D. do autômato
1	Atuação da válvula V11	Q0.0
2	Atuação da válvula V12	Q0.1
3	Atuação da válvula V21	Q0.2
4	Atuação da válvula V22	Q0.3
5	Atuação da válvula V32	Q0.4
6	Atuação da válvula não utilizada	Q0.5
7	Atuação da válvula não utilizada	Q0.6
8	Atuação da válvula não utilizada	Q0.7
9	Atuação da válvula V13	Q0.8
10	Endereço vazio	
11	Atuação da válvula V23	Q0.9
12	Endereço vazio	
13	Atuação da válvula V31	Q0.10
14	Endereço vazio	
15	Atuação da válvula V41	Q0.11
16	Endereço vazio	
17	Atuação da válvula V42	Q0.12
18	Endereço vazio	
19	Atuação da válvula V43	Q0.13
20	Endereço vazio	
21	Atuação da válvula não utilizada	Q0.14
22	Endereço vazio	
23	Atuação da válvula não utilizada	Q0.15
24	Endereço vazio	
25	COM 0 VDC	

**Função de cada borne da régua X1.**

Régua de bornes X1		
Borne	Descrição	Cabo
1	Fase	Fio castanho
2	Neutro	Fio azul
3	Terra	Fio amarelo e verde

**Função de cada borne duplo da régua X2.**

Régua de bornes duplos X2			
Borne		Descrição	Cabo
1	A	24 VDC Potência	Fio vermelho
	B	0 VDC	Fio preto
2	A	24 VDC Potência	Fio vermelho
	B	0 VDC	Fio preto
3	A	24 VDC Potência	Fio vermelho
	B	0 VDC	Fio preto
4	A	24 VDC Potência	Fio vermelho
	B	0 VDC	Fio preto
5	A	24 VDC Potência HMI	Cabo HMI, fio castanho
	B	0 VDC	Cabo HMI, fio azul
6	A	24 VDC Potência Transdutores	Cabo transdutores, fio vermelho
	B	0 VDC	Cabo transdutores, fio branco
7	A	Não utilizado	Não utilizado
	B	Não utilizado	Não utilizado
8	A	24 VDC Potência bobine relé emerg.	Fio preto
	B	0 VDC	Fio branco
9	A	24 VDC para contacto NA da emerg.	Fio castanho
	B	0 VDC	Fio branco
10	A	24 VDC para alimentação de detetores fotoelétricos.	Fio castanho
	B	0 VDC	Fio azul

**Ligações efetuadas no módulo de entradas/saídas analógicas.**

Autómato			
Módulo	Ligações	Função	Cabo
Mód. de 8 entradas analógicas -	EA0.1 - 24 VDC	Alimentação (24 VDC Digital)	X2:2A
	EA0.1 - 0 VDC	Alimentação (0 VDC COM)	X2:2B
	EA0.1 - 1	Transdutor de posição eixo 2	Fio verde T. eixo 2
	EA0.1 - 2	Transdutor de posição eixo 1	Fio verde T. eixo 1
	EA0.1 - 3	Entrada não utilizada	
	EA0.1 - 4	Entrada não utilizada	
	EA0.1 - 5	Entrada não utilizada	
	EA0.1 - 6	Entrada não utilizada	
	EA0.1 - 7	Entrada não utilizada	
	EA0.1 - 8	Entrada não utilizada	

**Ligações efetuadas no módulo de entradas digitais.**

Autómato			
Módulo	Ligações	Função	Cabo
Base externa de entradas digitais - ABE7H20E100	EA0.2 - 24 VDC	Alimentação (24 VDC Digital)	X2:3A
	EA0.2 - 0 VDC	Alimentação (0 VDC COM)	X2:3B
	EA0.2 - 100	Detetor superior	Fio castanho
	EA0.2 - 101	Monitorização do gerador de vácuo	Fio castanho
	EA0.2 - 102	Detetor inferior	Fio castanho
	EA0.2 - 103	Contacto aberto do pressostato	Fio preto
	EA0.2 - 104	Monitorização da emergência	Fio branco
	EA0.2 - 105	Detetor fotoelétrico	Fio preto
	EA0.2 - 106	Detetor fotoelétrico	Fio preto
	EA0.2 - 107	Entrada não utilizada	

**Ligações efetuadas na base de relés.**

Autómato			
Módulo	Ligações	Função	Cabo
Base externa de relés - saídas digitais	EA0.3 - 24 VDC	Alimentação (24 VDC Digital)	Fio vermelho
	EA0.3 - 0 VDC	Alimentação (0 VDC COM)	Fio preto
	EA0.3 - 1	Transdutor de posição eixo 2	Fio verde T. eixo 2
	EA0.3 - 2	Transdutor de posição eixo 1	Fio verde T. eixo 1
	EA0.3 - 3	24 VDC Digital para relés 1 a 4	Fio vermelho
	EA0.3 - 4	24 VDC Digital para relés 4 a 8	Fio vermelho
	EA0.3 - 100	Saída digital para válvula V11	Fio amarelo
	EA0.3 - 101	Saída digital para válvula V12	Fio cinza
	EA0.3 - 102	Saída digital para válvula V21	Fio castanho
	EA0.3 - 103	Saída digital para válvula V22	Fio preto
	EA0.3 - 104	Saída digital para válvula V32	Fio azul
	EA0.3 - 105	Saída digital para válvula não utilizada	Fio verde
	EA0.3 - 106	Saída digital para válvula não utilizada	Fio rosa
	EA0.3 - 107	Saída digital para válvula não utilizada	Fio lilás

## **ANEXO G: Terminais de válvulas analisados**

## G1 Terminal de válvulas MPA-L

Uma segunda solução pneumática da *FESTO* que também cumpria os requisitos impostos neste trabalho é o terminal de válvulas do modelo MPA-L. Este terminal apresenta uma estrutura modular, ou seja, contrariamente à solução anterior, terminal de válvulas VTUG, todos os elementos que o constituem são elementares. Com isto, esta solução oferece uma maior flexibilidade relativamente na escolha do número de válvulas para o terminal. Por outro lado, esta solução torna-se menos robusta devido à sua característica modular. (30)



Esquema ilustrativo do terminal de válvulas MPA-L. (30)

De seguida, estão apresentadas as características gerais deste terminal.

Resumo das características gerais do terminal de válvulas MPA-L. (30)

<i>Caraterísticas</i>	<i>Valor</i>
<b>Tipo de produto</b>	Terminal de válvulas sub-base modulares MPA-L;
<b>Conexão elétrica</b>	Interface I-PORT/IO-LINK
<b>Conexão de alimentação de pressão</b>	Conexão para tudo de 8 mm
<b>Conexão para válvulas de 10 mm de largura</b>	Conetor para tubo de 6 mm

Para o estudo desta solução houve necessidade de ter em conta mais parâmetros relativamente à solução apresentada anteriormente. Como esta solução é uma solução modular, foi necessário fazer a escolha das válvulas pneumáticas pretendidas, o seu *manifold rail* (base de alimentação de pressão e escape) associado e um módulo individual para entrada e saída das linhas de pressão e escape, respetivamente. Este facto adicional permite a esta solução proporcionar diferentes pontos de alimentação de pressão e, consequentemente possuir diferentes pressões de alimentação para soluções específicas. A estrutura modular deste modelo obriga, também, a ter atenção na seleção das bases de alimentação pretendidas, uma vez que estas podem disponibilizar um endereço para atuação de válvulas monoestáveis ou dois endereços para a atuação das válvulas duplas monoestáveis ou biestáveis via *fieldbus*, interface IO-LINK. (30)

As válvulas e restantes módulos para esta solução pneumática que se adequam para o problema deste trabalho são:

- 6 válvulas (3x2) 3/2 NC modelo 1-32 K;
- 6 válvulas 5/2 NC modelo 1-32 M;
- 4 bases de conexão para válvulas de 10 mm e de 2 endereços, modelo A;
- 8 bases e conexão para válvulas de 10 mm e de 1 endereço, modelo C;
- 1 módulo de alimentação de pressão e escape REF: 1-40 U;
- Módulo de interface para *fieldbus* (*I-Port interface*) REF: VMPAL-EPL-IPO32;
- Módulo de comunicação CTEU-CO e CTEL (apresentados na solução anterior).

## G2 Soluções com equipamento PARKER

Relativamente ao fabricante *PARKER*, são apresentadas duas soluções: terminal de modelo *Isys Micro Valves* e terminal *Moduflex Valve System*, ambas modulares.

### G2.1 Isys Micro Valves

A presente solução apresenta uma estrutura modular diferente das estruturas modulares já apresentadas. Esta solução possui bases modulares para duas ou quatro válvulas dispostas duas a duas. Assim, uma sub-base elementar permite alojar duas válvulas normais ou quatro válvulas duplas. (31)



Exemplo de terminal de válvulas Isys micro. (31)

Na tabela seguinte, estão presentes os componentes necessários para o terminal de válvulas deste trabalho.

Componentes e respectivas referências da solução Isys Micro Valves da PARKER. (31)

<i>Componentes</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Referências</i>
<b>Válvulas e bases</b>		
Válvula 3/2 NC dupla;	3 unidades	HMNVX2049A
Válvula 5/2 monoestável atuada eletricamente e-retorno por mola;	6 unidades	HMEVX2049A
Base 1 endereço	2 unidades	PSM21JAP
Base de endereço duplo	1 unidade	PSM21MAP
<b>Conjunto completo(base e válvulas)</b>		
1 conjunto (4 válvulas duplas 3/2 NC+NC)		PSM31MAPN6N6N6N6 PSM31JAPE6E6E6E6
2 conjuntos (de 4 válvulas 5/2 duplas atuadas por solenoide e retorno por mola)		
<b>Módulo de comunicação</b>		
Módulo terminal com para comunicação <i>fieldbus</i> (CANopen)	1 unidade	PSMMC1AP
<b>Assessórios</b>		
Ligação sub-base para tubo 6mm		F28PMB6M7MD
Silenciador 1/8"		P6M-PAB1

## G2.2 Moduflex Valve System

Uma segunda solução da PARKER é o sistema de válvulas da *Moduflex Valve System*. Este terminal também possui uma estrutura modular.

Exemplo de terminal de válvulas *Moduflex valve system*. (31)

Na tabela seguinte, estão descritos os componentes escolhidos para o problema em questão.

Componentes e respectivas referências da solução *Muduflex valve system* da PARKER. (31)

<i><b>Componentes</b></i>	<i><b>Quantidade</b></i>	<i><b>Referências</b></i>
<b>Válvulas</b>		
Válvulas 4/2 monoestáveis com retorno por mola;	6 unidades	P2M1V4ES2CV
Válvulas 3/2 NC+NC duplas	5 unidades	P2M1VDEE2CV
<b>Módulos</b>		
Topos	1 unidade	P2M2HXT01
Módulo de pressão de alimentação e escape	1 unidade	P2M2BXV0A
Módulo <i>fieldbus CANOPEN</i> (M12 - A coding)	1 unidade	P2M2HBVC21600
<b>Acessórios</b>		
União 6mm		FMD06-1
Silenciador		MMDVA2

### G3 Solução com equipamento *UNIVER*

O fabricante de componentes de pneumática *UNIVER* apresenta diversas soluções que poderiam ter sido analisadas mas apenas foi analisada a solução mais económica uma vez que os requisitos para este projeto não eram exigentes.

Exemplo de terminal de válvulas *Compact P10*. (32)

Na tabela seguinte, são apresentados os componentes pertencentes à solução analisada de modelo *Compact* da *UNIVER*.

Componentes e respectivas referências da solução *Compact* da UNIVER. (32)

<i><b>Componentes</b></i>	<i><b>Quantidade</b></i>	<i><b>Referências</b></i>
<b>Válvulas</b>		
Válvula 5/2 monoestável com retorno por mola	8 unidades	P10B26024
Válvula 3/2 NC dupla monoestável com retorno por mola	4 unidades	P10B66024
Sub-base para duas conexões com conector para tubo de 4mm	6 unidades	P10SB404
Módulo de conexão macho 25 polos sub-D	1 unidade	TIM1024
Módulo de alimentação G1/8 para módulo de comunicação TIM		P10SB500
Módulo direito de alimentação G1/8	1 unidade	P10SB505
	1 unidade	
Módulo de comunicação - <i>CANOPEN</i>	1 unidade	TCXC
<i>CANopen</i> input bus M12 fêmea 5 polos	1 unidade	TZ-F5M12
<i>CANopen</i> output bus M12 macho 5 polos	1 unidade	TZ-M5M12
<b>Acessórios</b>		
Varão roscado modular para duas válvulas	14 unidades	P10STR02

## G4 Solução com equipamento SMC

Relativamente à solução apresentada pela SMC, igualmente pelo mesmo motivo apresentado na solução anterior da *UNIVER*, apenas foi estudada a solução mais económica de todos os modelos disponíveis pelo fabricante, ou seja, o modelo *S0700*. (33)

Exemplo de terminal de válvulas *S0700*. (33)

Na tabela seguinte, estão presentes os elementos necessários para a solução e respetivas referências.



**Componentes e respectivas referências da solução da SMC. (33)**

<i><b>Componentes</b></i>	<i><b>Quantidade</b></i>	<i><b>Referências</b></i>
Corpo	1 unidade	SS0750-13 C4 SDY N
Válvula dupla 3/2 NC + NC, 2 endereços;	4 unidades	S07A0 - 5 S0710 - 5
Válvula 5/2 NC, 1 endereço;	8 unidades	
Módulos de topo	2 unidades	SS0700-10A-1